

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Institut environmentálního inženýrství

**VÝPOČET IMISÍ ZE SILNIČNÍ DOPRAVY A SROVNÁNÍ S
DATY Z AUTOMATIZOVANÉ IMISNÍ STANICE V
OSTRAVĚ-BARTOVICÍCH V ROCE 2014**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor

Vedoucí diplomové práce

Bc. Simona Polochová

Ing. Jana Kodymová, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY
Institute of environmental engineering

**CALCULATION OF TRANSPORT IMMISSIONS AND
CONFRONTATION WITH DATA FROM AIM (AUTOMATIC
IMMISSION STATION) IN OSTRAVA-BARTOVICE IN 2014**

DIPLOMA THESIS

Author
Supervisor

Bc. Simona Polochová
Ing. Jana Kodymová, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Simona Polochová**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904T005 Environmentální inženýrství

Téma: Výpočet imisí ze silniční dopravy a srovnání s daty z automatizované imisní stanice v Ostravě-Bartovicích v roce 2014
Calculation of Transport Immissions and Confrontation with Data from AIM (Automatic Immission Station) in Ostrava-Bartovice in 2014

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Znečištění ovzduší v Evropě a ČR
3. Kvalita ovzduší ve městě Ostrava
4. Význam znečištění z dopravy ve městě Ostrava
5. Výpočet imisí z dopravy na stanoveném úseku
6. Srovnání vypočtených dat s daty z automatizovaného imisního monitoringu
7. Závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené odborné literatury:


BRANIŠ, M.; HŮNOVÁ, I. Atmosféra a klima.: Aktuální otázky ochrany ovzduší. Praha: Karolinum, 2009. 352 s. ISBN 978-80-246-1598-1.
KURFÜRST, J. Kompendium ochrany kvality ovzduší. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor spol. s.r.o., 2008. 408 s. ISBN 978-80-86832-38-8.
Software CALINE4

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jana Kodymová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí institutu




prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
pověřený vedením fakulty

Prohlášení autora diplomové práce

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 24. 4. 2017

Simona Polochová
.....

Bc. Simona Polochová

Poděkování

Děkuji vedoucí své diplomové práce Ing. Janě Kodymové, Ph.D. za odborné vedení, cenné podněty a inspiraci, připomínky v průběhu zpracovávání, poskytnutí technické podpory a cenné odkazy na zdroje informací.

Chtěla bych poděkovat své rodině i přátelům a kolegům z práce za psychickou a morální podporu v době studia a svému manželovi za vytvoření VBA maker v MS EXCEL umožňující hromadné dávkové zpracování velkého množství dat.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá vlivy silniční dopravy na znečištění ovzduší v blízkém okolí dopravních komunikací. Pojednává o kvalitě ovzduší a o nepříznivých důsledcích případných polutantů na lidské zdraví. Sleduje vývoj legislativy ve smyslu omezení emisí, a tedy i imisí z dopravy, stanovením emisních limitů pro jednotlivé kategorie vozidel. V praktické části je provedeno srovnání imisí v zadaném období měsíců října a listopadu 2014 v lokalitě Ostrava - Bartovice. Hodnoty vypočítávané pomocí matematického modelu programem CALINE 4 jsou konfrontovány s reálným imisním monitoringem. V závěru práce jsou popsány vlivy, které mohly způsobit odchylky mezi modelem a naměřenou skutečností.

Klíčová slova: emise, imise, emisní limity, silniční doprava, normy EURO, MEFA 13, CALINE 4, matematický model, Ostrava

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the influence of road traffic on air pollution in the close vicinity of roads. It concerns air quality and adverse impacts of possible pollutants on human health. It also follows the development of legislation in terms of emissions restrictions, which also means of traffic pollutants, by determination of emissions limits for individual categories of vehicles. The practical part includes a comparison of air pollutants in the assigned period of October and November 2014 in the locality of Ostrava – Bartovice. The values calculated using a mathematical model in program CALINE 4 are confronted with real monitoring of air pollutants. The final part of the thesis describes influences which might have caused the deviations between the model and the measured reality.

Key words: emissions, pollutants, emission limits, road traffic, norms EURO, MEFA 13, CALINE 4, mathematical model, Ostrava

Obsah

1	Úvod	1
2	Znečištění ovzduší v Evropě a ČR.....	2
2.1	Stav ovzduší v Evropě.....	2
2.2	Informace o legislativě ČR související s vlivem dopravy na ŽP	3
2.3	Imisní limity	4
2.4	Vliv meteorologických a rozptylových podmínek	5
2.5	Hlavní zdroje znečištění ovzduší	5
2.6	Základní znečišťující látky	6
2.6.1	Suspendované částice PM _x	6
2.6.2	Benzo[a]pyren.....	7
2.6.3	Oxidy dusíku	8
2.6.4	Přízemní ozon	9
2.6.5	Benzen	10
2.6.6	Oxid siřičitý	10
2.6.7	Oxid uhelnatý.....	11
2.6.8	Další škodliviny z dopravy	12
2.7	Znečištění ovzduší v ČR z dopravy	12
2.7.1	Vývoj struktury pozemní dopravy v ČR.....	12
2.7.2	Vývoj objemů dopravy v ČR v posledních letech	14
2.8	Omezování negativních vlivů dopravy na kvalitu ovzduší	17
2.8.1	Emisní normy EURO	17
2.8.2	Techniky snižování emisí z výfukových plynů	19
3	Kvalita ovzduší ve městě Ostrava.....	23
3.1	Charakteristika oblasti Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek	23
3.2	Zdroje znečišťování ovzduší v Ostravě.....	23
3.3	Kvalita ovzduší v Ostravě	24
4	Význam znečištění z dopravy ve městě Ostrava	27
4.1	Hustota a vytíženost dopravní sítě na území Ostravy	27
4.2	Městská hromadná doprava.....	28
5	Výpočet imisí z dopravy na stanoveném úseku.....	30

5.1	Program CALINE 4 - uživatelské rozhraní CL4 v2.1.....	31
5.1.1	Pracovní parametry (Job Parameters)	32
5.1.2	Spouštěcí podmínky (Run Conditions).....	34
5.1.3	Geometrie vozovek (Link Geometry).....	37
5.1.4	Aktivita vozovek (Link Activity)	39
5.1.5	Pozice receptorů (Receptor Positions).....	51
5.1.6	Výsledky (Results).....	52
5.2	Vypočtené hodnoty	53
5.2.1	Imise oxidu uhelnatého (CO).....	54
5.2.2	Imise oxidu dusičitého (NO ₂)	55
5.2.3	Imise prachových částic (PM ₁₀).....	56
6	Srovnání vypočtených dat s daty z automatizovaného imisního monitoringu.....	58
6.1	Stanice TOREK 1650 Ostrava-Bartovice	58
6.2	Srovnání naměřených a vypočtených imisí CO	59
6.3	Srovnání naměřených a vypočtených imisí NO ₂	60
6.4	Srovnání naměřených a vypočtených imisí PM ₁₀	61
7	Diskuze.....	63
8	Závěr	68

Seznam použité literatury

Seznam zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam grafů

Přílohy

1 ÚVOD

Každý člověk, a v podstatě každý organismus na Zemi, je součástí přírody. Příroda vytváří prostředí, ve kterém člověk žije, působí svými pravidelnými i náhodnými proměnami na jednotlivé organismy, ty se přizpůsobují a mění. Organismy samy pak, ve větší či menší míře, mění přirozené prostředí kolem sebe. V tomto ohledu není lidská činnost v přírodě ničím ojedinělým. Výjimečná je jen její intenzita ve srovnání s ostatními druhy obývajícími společnou planetu.

Antropogenní činnost může mít pozitivní i negativní dopady na ekosystém. Někdy na první pohled pozitivní vliv v sobě skrývá negativa. Nebezpečím je, projevují-li se tato negativa s velkým časovým zpožděním. Pak je těžké činnost zastavit a nežádoucí vlivy zvrátit. Následně je nutné, resp. žádoucí, řešit a omezovat až důsledky těchto negativních zásahů.

Přirozené prostředí na Zemi má značnou schopnost překonávat vnější zásahy a autoregulací obnovovat svůj původní stav. Tyto schopnosti však nejsou neomezené. Přesáhne-li změna kompenzační schopnost ekosystému, dojde k narušení jeho stability. Jedním ze základních složek životního prostředí, jež nás obklopuje, je atmosféra.

Ovzduší obsahuje mimo základní složení (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2O) také další chemické sloučeniny, vytvořené mimo jiné antropogenní činností. Některé z nich se na organismech projevují inhibičně nebo toxicky. Mezi největší producenty nečistot v ovzduší patří jednak stacionární zdroje, jako jsou elektrárny, teplárny a zcela neopomenutelná lokální topeniště rodinných domů, ale také zdroje mobilní. Ve své diplomové práci se věnuji tématice znečištění ovzduší vlivem automobilové dopravy.

Cílem této diplomové práce je výpočet imisí ze silniční dopravy a jejich srovnání s daty z automatizované imisní stanice v Ostravě-Bartovicích v říjnu a listopadu roku 2014. Jsou sledovány a vyhodnoceny imisní hodnoty znečišťujících látek NO_2 , CO a PM_{10} . Zpracování hodnot a simulace imisí je řešeno pomocí matematického modelu představovaného aplikací CALINE 4.

2 ZNEČIŠTĚNÍ OVZDUŠÍ V EVROPĚ A ČR

Lidská činnost ovlivňuje všechny složky prostředí. Na snížení kvality ovzduší se podílejí jednak látky antropogenního původu (v přírodě nejsou obvyklé), ale i látky v přírodě běžné, v koncentracích v přírodě neobvyklých, případně obvyklých jen ve zvláštních lokalitách (erupce vulkánu, prашné bouře, atd.) (Braniš, 2009).

2.1 Stav ovzduší v Evropě

Dlouhodobým cílem Evropské unie (EU) je dosáhnout takové úrovně kvality ovzduší, která nebude mít nepříznivý vliv nejen na zdraví člověka, ale na celé životní prostředí. EU o snížení škodlivin usiluje na celé řadě úrovní: prostřednictvím právních předpisů, spoluprací s odvětvími odpovědnými za znečištění ovzduší, ale také s mezinárodními a vnitrostátními orgány a nevládními organizacemi a prostřednictvím výzkumu (EEA, 2017c).

Znečišťování ovzduší je jednak místní a celoevropskou záležitostí, ale také problémem týkajícím se celé Severní polokoule. Znečišťující látky vypuštěné do ovzduší v jedné zemi se mohou dále šířit dálkovým přenosem atmosférou a přispívat tak ke špatné kvalitě ovzduší v dalších oblastech ((EEA, 2017c).

V současnosti se za nejvýznamnější z hlediska negativního dopadu na lidské zdraví všeobecně považují tři znečišťující látky, a to jemné částice (PM), oxid dusičitý (NO₂) a přízemní ozon (O₃) (EEA, 2017c).

Dle poslední vydané studie „Air quality in Europe – 2016 report“ Evropské agentury pro životní prostředí (dále jen EEA) za rok 2016 (EEA, 2016a), se sice kvalita ovzduší pomalu zlepšuje, ale znečištění ovzduší zůstává stále jedním z nejvýznamnějších faktorů, který ohrožuje zdraví obyvatel. Vliv na zdraví je značný, zpráva poskytuje nový odhad zdravotního dopadu nejškodlivějších látek, hlavně suspendovaných částic PM_{2,5}, které způsobily v evropských zemích řadu předčasných úmrtí. Studie pokazuje také na dopad silniční dopravy na znečištění ovzduší – téma, o kterém se poslední dobou diskutuje v souvislosti s několika evropskými městy, například Paříží a Londýnem.

Silniční doprava představuje hlavní zdroj emisí oxidu dusičitého (NO₂), ale je rovněž prekursorem ozonu a suspendovaných částic, které se v ovzduší vytváří. Je

významným zdrojem primární prašnosti, a to nejen z důvodu spalování pohonných hmot, opotřebováváním pneumatik a brzd, ale také v neposlední řadě představuje velmi významný zdroj emisí skleníkových plynů a hlukové zátěže (EEA, 2016a).

Doprava a mobilita sehrávají v životě každého člověka významnou úlohu. Cestování však může být udržitelnější. Řada měst po celé Evropě již podniká náležité kroky, pomocí nichž se snaží prosadit šetrnější způsoby mobility. Opatření jako zpoplatnění dopravního zatížení však fungují pouze krátkodobě, proto je potřeba přemýšlet o dlouhodobějších zásadních a inovativních změnách systému dopravy (EEA, 2017b).

2.2 Informace o legislativě ČR související s vlivem dopravy na ŽP

Tato kapitola informuje o legislativě České republiky (ČR), která se týká životního prostředí a dopravy. Česká republika se dne 1. 5. 2004 stala právoplatným členem Evropské unie (EU). Od tohoto data je veškerá legislativa EU pro ČR závazná. Od vstupu ČR do EU proto probíhá pravidelná aktualizace předpisů EU s legislativou ČR tak, aby došlo k jejímu zjednodušení a dosažení rovnocenných konkurenčních podmínek s ostatními členskými státy EU. Veškeré legislativní úpravy musí respektovat současné standardy ochrany životního prostředí:

- zákon č. 201/2012 Sb. ze dne 2. května 2012, o ochraně ovzduší,
- zákon č. 383/2012 Sb. ze dne 24. října 2012, o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů,
- zákon č. 73/2012 Sb. ze dne 7. února 2012, o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu a o fluorovaných skleníkových plynech,
- zákon č. 76/2002 Sb. ze dne 5. února 2002, o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci),
- vyhláška č. 415/2012 ze dne 21. listopadu 2012, o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší,
- vyhláška č. 257/2012 ze dne 12. července 2012, o předcházení emisím látek, které poškozují ozonovou vrstvu, a fluorovaných skleníkových plynů,

- nařízení vlády č. 56/2013 ze dne 6. února 2013, o stanovení pravidel pro zařazení silničních motorových vozidel do emisních kategorií a o emisních plakétách,
- nařízení vlády č. 145/2008, kterým se stanoví seznam znečišťujících látek a prahových hodnot a údaje požadované pro ohlašování do integrovaného registru znečišťování životního prostředí.

2.3 Imisní limity

Ochrana ovzduší je u nás legislativně zajištěna především zákonem č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší. Hlavními nástroji ochrany jsou pak imisní limity a emisní stropy. Zákon zároveň stanovuje maximální počet dní, po které je možné v průběhu jednoho roku tyto limity překročit.

Imise – „znečišťující příměsi obsažené v atmosféře, které přecházejí na příjemce nebo jsou s ním v kontaktu (organismus, stavební materiál, půda ..)“ (Braniš, 2009, s. 183).

*Tabulka 1: Imisní limity znečišťujících látek
(Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší)*

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit	Maximální počet překročení
SO ₂	1 hod.	350 µg/m ³	24
	24 hod.	125 µg/m ³	3
NO ₂	1 hod.	200 µg/m ³	18
	kalendářní rok	40 µg/m ³	0
CO	max. denní 8hod klouzávý průměr	10 mg/m ³	0
Benzen	kalendářní rok	5 µg/m ³	0
částice PM ₁₀	24 hod.	50 µg/m ³	35
	kalendářní rok	40 µg/m ³	0
částice PM _{2,5}	kalendářní rok	25 µg/m ³	0
Pb	kalendářní rok	0,5 µg/m ³	0

Imisní limity – „představují hodnoty max. povolených imisních koncentrací jednotlivých znečišťujících látek v ovzduší s různým intervalem průměrování.“ U vybraných látek je udáván maximální počet překročení imisního limitu. Pro vybrané látky jsou tedy definována tři kritéria: hodnota imisního limitu, doba průměrování a maximální počet překročení (Andreovský, 2013, s. 34).

2.4 Vliv meteorologických a rozptylových podmínek

Kromě vlastních zdrojů znečišťování ovzduší jeho kvalitu také ovlivňují meteorologické podmínky. Mají vliv jednak na množství emisí z antropogenních i přírodních zdrojů, určují rozptylové podmínky, ovlivňují tvorbu sekundárních znečišťujících látek v ovzduší a odstraňování znečišťujících látek z ovzduší. Meteorologické podmínky ovlivňují:

- **emise** – přímo na počasí (teplotě) závisí emise z vytápění, nízké teploty navyšují emise z dopravy (studené starty) a na teplotě závisí i uvolňování těkavých látek. Vítr může zvyšovat resuspenzi (zvíření již usazených polutantů),
- **rozptylové podmínky** – mění se mezní vrstvy atmosféry a rychlost proudění (a tím i rychlost přenosu emisí),
- **tvorbu sekundárních polutantů a chemismus atmosféry** – teplota, relativní vlhkost vzduchu a sluneční záření, přímo ovlivňují chemické a fyzikální procesy probíhající mezi znečišťujícími látkami v ovzduší,
- **odstraňování znečišťujících látek** – znečišťující látky jsou z atmosféry odstraňovány prostřednictvím suché a mokré depozice. Při mokré depozici jsou znečišťující látky vymývány z ovzduší na zemský povrch srážkami (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

2.5 Hlavní zdroje znečištění ovzduší

Zdroje emisí (vypouštění škodlivých látek ze zdroje) do ovzduší rozdělujeme podle řady kritérií:

- podle původu rozlišujeme zdroje **přírozené** (sopečná nebo bakteriální činnost) a **antropogenní** (související s lidskou činností – výroba elektřiny a tepla, průmyslová a zemědělská činnost, doprava a likvidace odpadu),
- podle umístění rozeznáváme zdroje **přízemní** (v bezprostřední blízkosti zemského povrchu – skládky, lokální topeniště, doprava, aj.), **vyvýšené** (např. komíny elektráren a průmyslových závodů) a **výškové** (letecká doprava),
- podle uspořádání dělíme zdroje znečištění ovzduší na **bodové**, **liniové**, **plošné** a **objemové**. Bodovým zdrojem je např. komín, lineárním zdrojem pak doprava,

plošným zdrojem např. město jako celek, průmyslová aglomerace a o zdroji objemovém hovoříme v souvislosti s katastrofami (např. jaderný výbuch),

- podle stálosti povahy rozeznáváme zdroje **stacionární**, které nemění svou polohu v prostoru a čase, a **mobilní**,
- podle doby trvání dělíme na zdroje **kontinuální** (nepřetržité) a **diskontinuální** (přetržité) (Braniš, 2009).

2.6 Základní znečišťující látky

Znečišťující látky v ovzduší nemusí vždy podléhat zásadním chemickým a fyzikálním změnám. Podle toho rozlišujeme:

- **primární polutanty** – nepodléhají zásadním chemickým a fyzikálním změnám, mají svůj konkrétní zdroj,
- **sekundární polutanty** – nemají jasně definovaný přímý zdroj, vznikají nebo se vyvíjejí v procesu přeměny primárních polutantů během chemických (fotochemických) reakcí (Braniš, 2009).

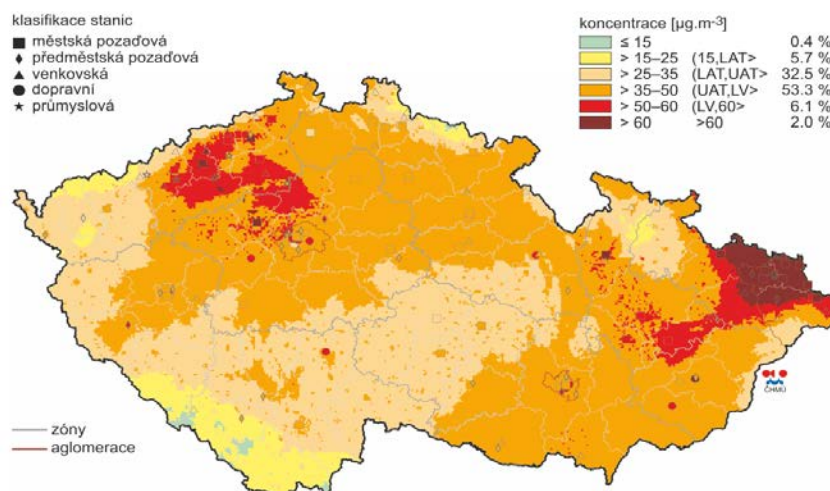
2.6.1 Suspendované částice PM_x

Suspendované částice jsou směsí organických a anorganických částic kapalného a pevného skupenství, mají různou velikost, složení a také původ. Částice velikosti PM_{10} a $PM_{2,5}$ projdou definovaným, velikostně selektivním vstupním filtrem vykazujícím pro aerodynamický průměr $10\ \mu m$, $2,5\ \mu m$ odlučovací účinnost 50 % (Český hydrometeorologický ústav, 2010).

Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi frakce PM_{10} a $PM_{2,5}$ je jedním z hlavních problémů, které je třeba řešit při zajišťování kvality ovzduší ČR. Na obrázku 1 je mapa výskytu koncentrací PM_{10} , největší zatížení vykazují Moravskoslezský kraj a severovýchodní Čechy. Mezi hlavní zdroje emisí PM_x , které se podílejí na znečišťování ovzduší v celorepublikovém měřítku, patří lokální vytápění domácností (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Suspendované částice dráždí sliznici dýchacích cest, mohou zvýšit produkci hlenu a snížit samočisticí schopnosti dýchacího ústrojí. Tyto změny usnadňují vznik infekce. Recidivující akutní zánětlivá onemocnění vedou často ke vzniku chronické bronchitidy,

chronické obstrukční nemoci plic s následným přetížením pravé srdeční komory a oběhovým selháváním (Krajská hygienická stanice Liberec, 2014).



Obrázek 1: Nejvyšší 24hod. koncentrace PM_{10} v 2014
(Český hydrometeorologický ústav, 2015)

2.6.2 Benzo[a]pyren

Benzo[a]pyren ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$) se řadí do skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků. Je produktem nedokonalého hoření (například při výrobě tepelné a elektrické energie, výrobě koksu, surového železa a při provozu vznětových motorů). Přirozené pozadí benzo[a]pyrenu může být s výjimkou výskytu lesních požárů téměř nulové (Blažek, 2013).

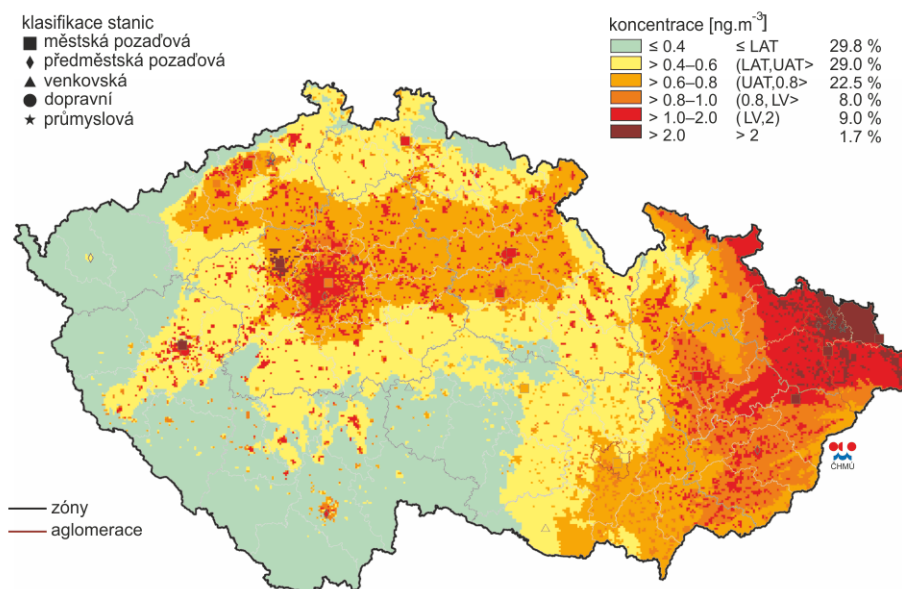
Znečištění ovzduší benzo[a]pyrenem rovněž patří k hlavním problémům zajištění kvality ovzduší v ČR. Nejvyšší roční průměrná koncentrace v roce 2014 byla naměřena v průmyslové lokalitě Ostrava-Radvanice (více než devítinásobné překročení imisního limitu). Na vysokou koncentraci této látky v ovzduší má také vliv přeshraniční přenos z Polska (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Koncentrace benzo[a]pyrenu vykazují maxima v zimním období a minima v letním období. V zimním období jeho zvýšené koncentrace v atmosféře souvisí se zvýšenými emisemi polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) z lokálních topenišť. Hlavní příčinou jeho vzniku je spalování pevných paliv, především uhlí, v kotlích starších typů. Významným zdrojem emisí PAU je také doprava, u které v zimním období dochází navíc k zvýšené produkci PAU v důsledku studených startů. Zvýšené koncentrace jsou

způsobeny rovněž zhoršenými rozptylovými podmínkami v zimním období. Koncentrace v jednotlivých oblastech ČR znázorňuje mapa na obrázku 2 (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Odhad ročních průměrných koncentrací benzo[a]pyrenu, ve srovnání s ostatními mapovanými látkami, je zatížen největšími nejistotami plynoucími z nedostatečné hustoty měřicí sítě (nízký počet měření na venkovských regionálních stanicích reprezentujících vliv lokálních topenišť) (Ministerstvo životního prostředí, 2013).

Karcinogenní benzo[a]pyren se váže na poléťavý prach (PM_{10} , $PM_{2,5}$ a menší) a vstupuje skrze dýchací systém a pokožku hluboko do lidského organismu a vyvolává řadu zdravotních problémů. (Ministerstvo životního prostředí, 2013).



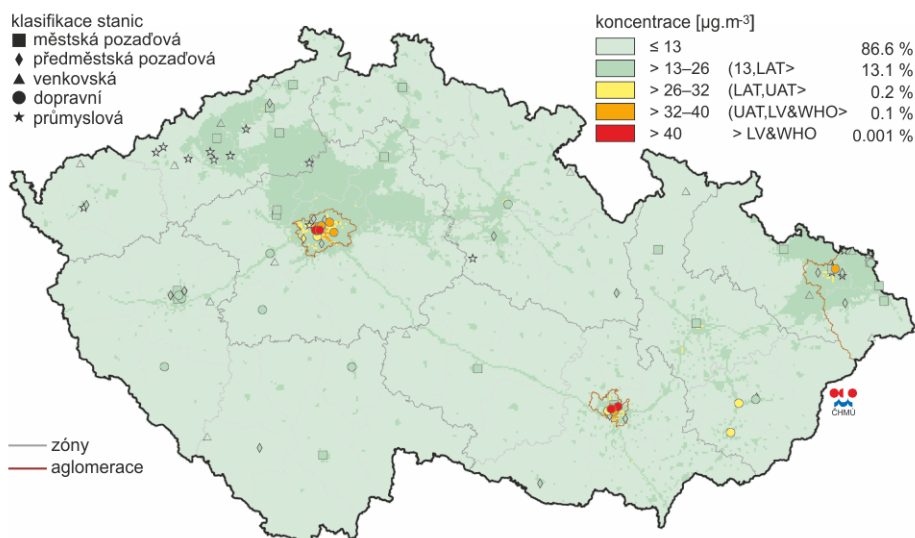
Obrázek 2 : Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu v 2014
(Český hydrometeorologický ústav, 2015)

2.6.3 Oxidy dusíku

Při sledování a hodnocení kvality venkovního ovzduší se pod termínem oxidy dusíku (NO_x) rozumí směs oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO_2). Emise NO_x se tvoří při spalování paliv v závislosti na teplotě spalování, obsahu dusíku v palivu a přebytku spalovacího vzduchu. Dále vznikají i při některých chemicko-technologických procesech (výroba kyseliny dusičné, amoniaku, hnojiv apod.). Největší množství emisí NO_x však pochází z dopravy. Nejvyšší koncentrace emisí NO_x je soustředěna především

podél dálnic, ve velkých městech a v krajích (Ústecký, Středočeský, Moravskoslezský) viz mapa na obrázku 3. K překročení ročního imisního limitu NO_2 tedy dochází pouze na omezeném počtu stanic, především na dopravně exponovaných lokalitách (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Oxidy dusíku se řadí mezi látky se širokým spektrem negativních dopadů jak zdravotních, tak dopadů na globální ekosystém. Jsou součástí tzv. kyselých dešťů, které mají negativní vliv na vegetaci, stavby, okyselují vodní plochy a toky. Oxid dusičitý (NO_2) se podílí na tvorbě fotochemického smogu, oxid dusnatý (NO) je jedním ze skleníkových plynů. Vdechování vysokých koncentrací těchto plynů vede k závažným zdravotním potížím. Oxidy dusíku se váží na krevní barvivo a zhoršují přenos kyslíku do tkání, dráždí dýchací cesty a mohou způsobovat nádorová onemocnění (Integrovaný registr znečišťování, 2017).



Obrázek 3: Roční průměrné koncentrace NO_2 v 2014
(Český hydrometeorologický ústav, 2015)

2.6.4 Přízemní ozon

Vedle ozonu ve stratosféře, který Zemi chrání před nebezpečným ultrafialovým zářením a je tedy pro nás existenčně důležitý, se potýkáme s ozonem troposférickým, který má negativní toxické účinky na všechny organismy, včetně člověka. Ozon vzniká v důsledku přirozené vlastnosti atmosféry oxidovat stopové prvky. Jeho prvotním zdrojem je kyslík. V troposféře se pak na jeho vzniku podílí soubor fotochemických reakcí oxidů dusíku, uhlovodíků a následnou reakcí s oxidem uhelnatým (Waldhauserová, 2008).

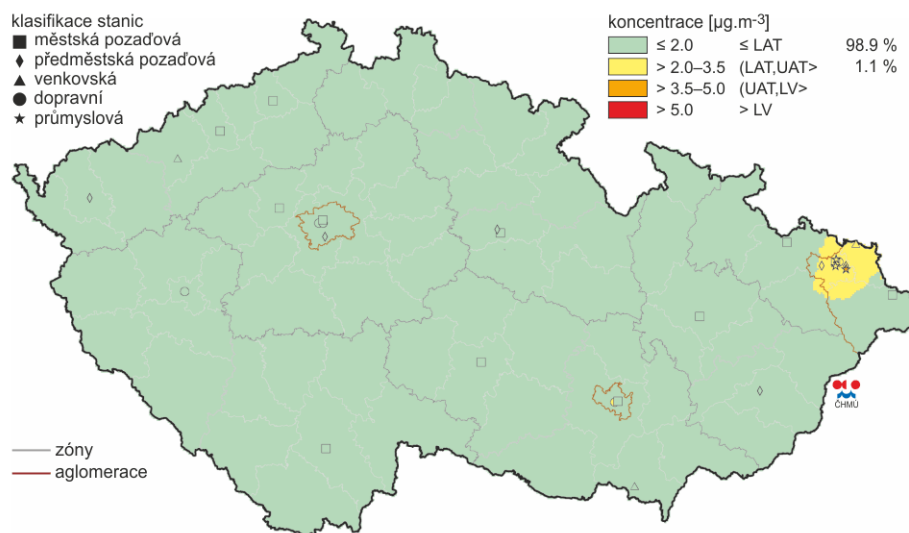
Důsledkem zvýšené koncentrace ozonu na lidské zdraví bývají bolesti hlavy a pálení očí, ale také plicní edémy, astma, záněty průdušek apod. (Waldhauserová, 2008).

2.6.5 Benzen

Benzen je bezbarvá kapalina charakteristického zápachu. Mezi hlavní zdroje se řadí emise z dopravních prostředků a vypařování během manipulace, distribuce a skladování paliv (Kurfürst, 2008).

Jeho vyšší koncentrace také souvisejí s průmyslovou činností, především s výrobou koksu a zpracováním následných chemických produktů. V letním období bývají koncentrace benzenu nižší než v zimě, což je způsobeno horšími rozptylovými podmínkami v zimním období. Koncentrace znázorňuje mapa na obrázku 4 (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Benzen poškozuje centrální nervovou soustavu, imunitní systém a krevní oběh. Poškozuje červené i bílé krvinky, krevní destičky, způsobuje anémii. Chronická expozice poškozuje kostní dřeň a může vyvolat leukémii (Integrovaný registr znečišťování, 2017).



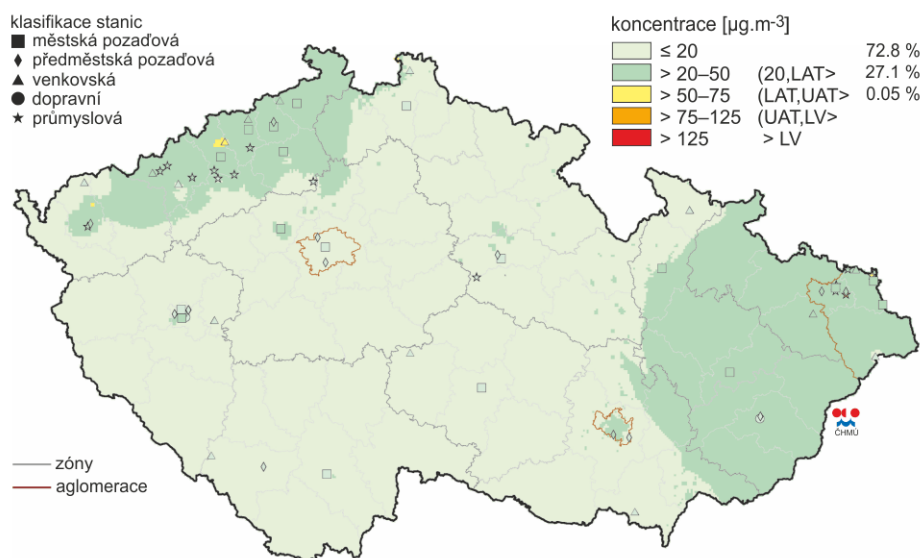
Obrázek 4: Roční průměrné koncentrace benzenu v 2014
(Český hydrometeorologický ústav, 2015)

2.6.6 Oxid siřičitý

Zdrojem emisí oxidu siřičitého (SO_2) je především spalování pevných fosilních paliv, která obsahují síru. Od roku 2007 dochází k poklesu emisí SO_2 vlivem zavedení

povinnosti plnit emisní stropy pro velké centralizované zdroje. V roce 2014 nebyl v ČR překročen hodinový ani 24hodinový imisní limit oxidu siřičitého (SO_2) na žádné měřicí stanici viz obrázek 5. Vývoj trendů koncentrací SO_2 je způsoben poklesem emisí, odsířením uhelných elektráren a změnou používaných paliv (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Oxid siřičitý při běžných koncentracích (okolo $0,1 \text{ mg.m}^{-3}$) dráždí oči a horní cesty dýchací. Při vyšších koncentracích dochází ke zvýšení respirační nemocnosti hlavně dětí a astmatiků. Oxidy síry pak jsou také součástí kyselých dešťů, které negativně ovlivňují mnohé ekosystémy (Integrovaný registr znečišťování, 2017).



Obrázek 5: Nejvyšší 24hod. koncentrace SO_2 v 2014
(Český hydrometeorologický ústav, 2015)

2.6.7 Oxid uhelnatý

Emise oxidu uhelnatého (CO) jsou produktem spalování paliv obsahujících uhlík za nízké teploty a nedostatku spalovacího vzduchu. Největší množství emisí CO vzniká při lokálním vytápění domácností. Mezi další významné zdroje patří průmysl, stavebnictví a silniční doprava. Vliv dopravy převládá podél dálnic a ve větších městských celcích (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Jednou z nejčastějších otrav je otrava oxidem uhelnatým. Jeho nebezpečnost spočívá v tom, že se jedná o bezbarvý plyn bez zápachu, nepostřehnutelný smysly. Oxid uhelnatý vstupuje do organismu plicemi a rychle reaguje s hemoglobinem, vzniká

karboxyhemoglobin. Vazba oxidu uhelnatého k železnatému iontu hemoglobinu je asi 220krát silnější než vazba kyslíku. Velmi vysoké koncentrace jsou smrtelné (Ministerstvo životního prostředí, 2013).

2.6.8 Další škodliviny z dopravy

Mezi další škodliviny pocházející z dopravy a zatěžující ovzduší se také řadí **oxid uhličitý (CO₂)**, vznikající spalováním motorových paliv obsahujících uhlík. Jeho neustálý nárůst přispívá ke skleníkovému efektu. Dále jsou to **polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)**, **olovo (Pb)** - v minulosti se dostávalo do ovzduší především z olovnatých benzínů, **kadminum (Cd)** - které se používá jako plnidlo kaučuku při výrobě pneumatik, **těkavé organické látky (VOC)** – zdrojem jsou výfukové plyny a odpařování pohonných hmot a další (Kurfürst, 2008).

Tyto látky nejsou předmětem posouzení v rámci této práce, a proto jsou uvedeny pouze výčtem pro úplnost.

2.7 Znečištění ovzduší v ČR z dopravy

V současné době na území České republiky, stejně jako v jiných vyspělých zemích, představuje automobilová doprava jeden z nejvýznamnějších zdrojů znečišťování ovzduší. Při sledování vývoje produkce emisí z automobilové dopravy je třeba vzít v úvahu, že se zde projevují dva proti sobě působící soubory faktorů – jednak na komunikační síti narůstají intenzity automobilové dopravy, zároveň ale také probíhá obměna vozového parku. Postupně jsou odstavována nejstarší vozidla a jsou nahrazována novými automobily. Tyto dva faktory ovlivňují výslednou produkci emisí v daném roce a na konkrétní komunikaci. (Krkošková, 2015)

2.7.1 Vývoj struktury pozemní dopravy v ČR

V průběhu let se mění rozsah i struktura dopravy ve všech rozvinutých zemích, ke kterým patří i Česká republika. V minulém století se postupně přecházelo od zvířecích povozů a potahů k motoru poháněným vozidlům. Doprava je významným místem spotřeby energie a její podíl na celkové spotřebě v průběhu let narůstá.

Na železnici byly postupně nahrazovány parní lokomotivy lokomotivami s dieselvými motory a později, s postupnou elektrifikací železniční trakce, jsou tyto lokomotivy vytlačovány lokomotivami elektrickými.

Zatímco v železniční dopravě je cesta elektrifikace závislá zejména na rozšíření trolejového vedení nad kolejemi a napájecími trakčními stanicemi, v silniční dopravě je situace složitější. Až na tramvajovou dopravu a málo rozšířené trolejbusy jsou silniční vozidla odkázána na vlastní zdroj energie. Rozvoj elektromobilů je v budoucnosti závislý zejména na vývoji akumulátorů, jež by zajistily při rozumné ceně dostatečný dojezd, a na technologiích jejich rychlého a bezpečného dobíjení, aniž by jim hrozilo významné zkrácení životnosti. Současné elektromobily jsou drahé, jejich dojezd je značně omezen a je závislý také na využívání podpůrné techniky v jiných automobilech samozřejmě, např. vytápění, klimatizace vnitřního prostoru a také na spotřebě osvětlení. Právě tyto vedlejší nemotorické spotřeby mohou být vážným problémem při zimním uvíznutí v dálniční koloně, kdy musí posádka vozu čelit dilematu, zda trpět zimou nebo riskovat předčasné vybití akumulátoru.

Jistým přechodným řešením malé kapacity současných baterií jsou vozidla s hybridním pohonem, kdy je elektromotorická jednotka kombinovaná s klasickým spalovacím motorem. Hybridy však nabízejí mnoho variant vývoje od spolupráce pohonných jednotek až po úplný elektropohon. V prvním případě by šlo o zajištění základního výkonu spalovacím motorem a pokrývání krátkodobé zvýšené potřeby nárazového výkonu z baterie a generátorové brzdění. V druhém případě by motorická spalovací jednotka sloužila pouze k dobíjení baterie s nízkou kapacitou a výsledný hybrid by nemusel disponovat mechanickou převodovkou. Motor by pracoval pouze na jediných optimálních otáčkách.

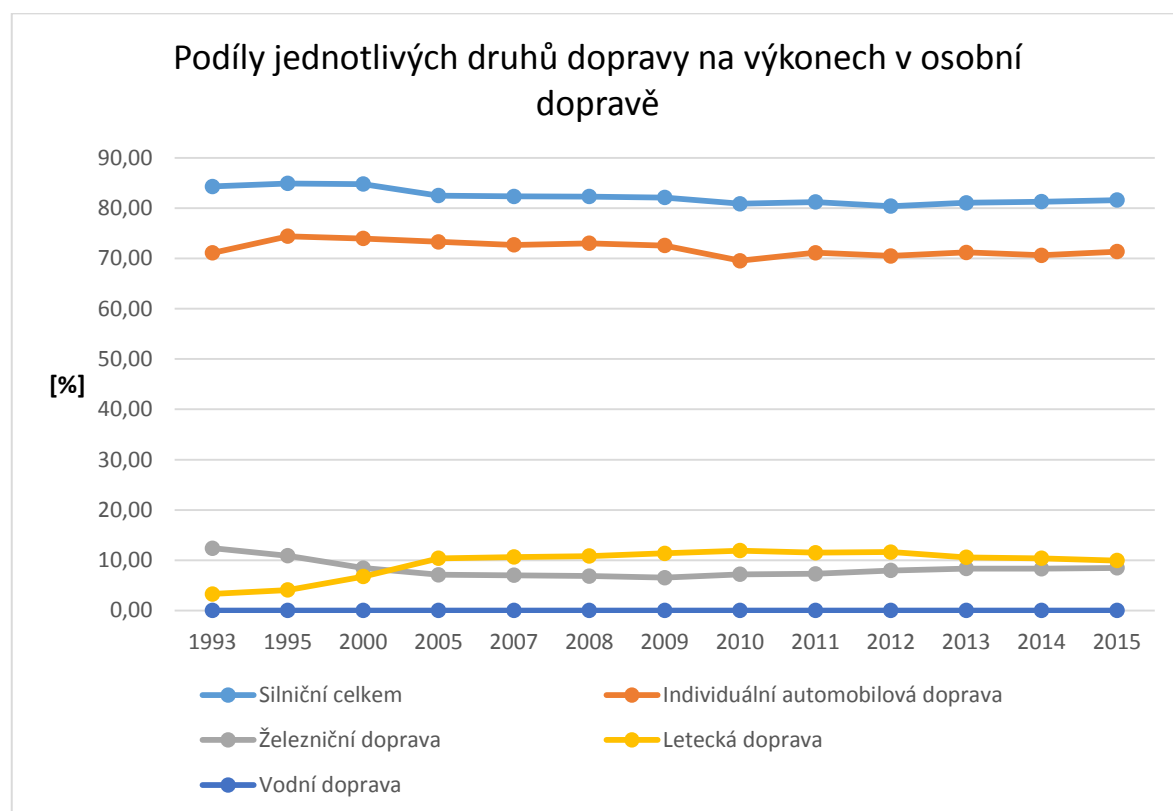
Téměř všechny země Evropské unie elektrická vozidla aktivně podporují, ale jen některým se podařilo dosáhnout vyššího nárůstu jejich prodeje. Průkopníkem v této oblasti je Norsko, nárůst také zaznamenávají v Dánsku, Francii, Německu, Švédsku, Nizozemsku a ve Spojeném království. Tyto země využívají různé typy pobídek. Jednou z nejúčinnějších jsou dotace na nákup vozů, díky nimž se cena elektrických vozidel blíží ceně tradičních automobilů. Mezi další výhody patří snížené náklady na vlastnictví vozu,

např. roční sleva na dani, dobíjení zdarma, bezplatné parkování nebo povolení používat jízdní pruhy vyhrazené pro autobusy. (EEA, 2016d).

Pro rozvoj elektromobilů i hybridních vozů bude zásadní, jestli se podaří nabídnout je v dohledné době za přijatelnou „lidovou“ cenu, jelikož při ceně srovnatelné s kategorií luxusních vozů se široké upotřebení nedá očekávat. S rozšířením těchto vozů by pak jistě dále klesala i cena, jejíž část je ovlivněna právě masovostí produkce.

2.7.2 Vývoj objemů dopravy v ČR v posledních letech

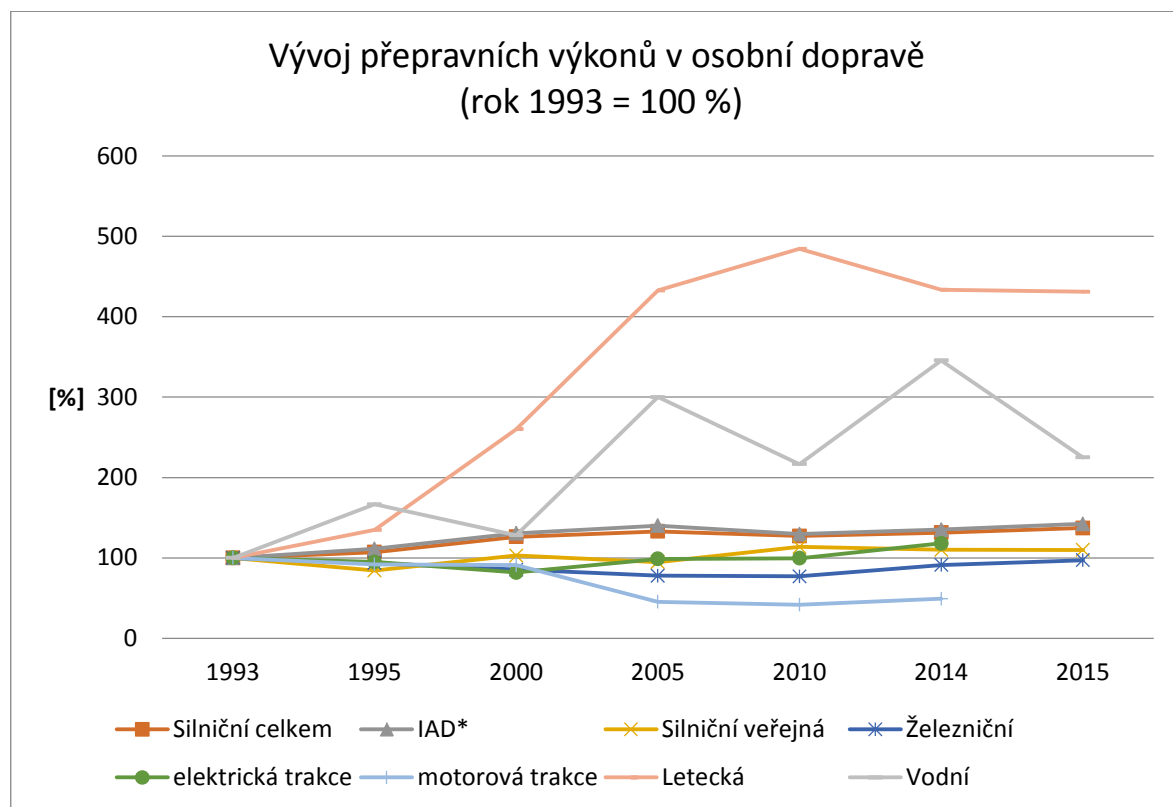
Dle „Studie o vývoji dopravy z hlediska životního prostředí v České republice za rok 2015“ (Jandová, 2016) zaznamenala individuální automobilová doprava (IAD) v přepravě cestujících v roce 2010 výraznější pokles. Vývoj podílu jednotlivých forem přepravy viz graf 1. Ten byl ale způsoben změnou metodiky sčítání silničního provozu a je to obecný problém všech dlouhodobých statistik. V hodnotách před i po změně metodiky mají však hodnoty viditelný vzrůstající trend.



Graf 1: Podíly jednotlivých druhů dopravy na výkonech v osobní dopravě (Jandová, 2016)

U autobusové přepravy došlo v roce 2010 k nárůstu absolutního počtu cestujících a také k výraznějšímu nárůstu realizovaného přepravního výkonu. Tato skutečnost může souviset s probíhající hospodářskou krizí a má spíše přechodný charakter. V následujících letech je trend kolísavý. V osobní železniční dopravě dochází od roku 2010 k navyšování přepravních výkonů i počtu přepravených osob.

V letecké dopravě vykazuje počet přepravených osob i hodnoty přepravního výkonu od roku 2011 klesající tendenci. Letecká doprava je však v ČR velmi svázaná s turistikou a letními dovolenými a intenzita letecké dopravy může souviset se společenskými vlivy (poklesem zájmu o rizikové zahraniční destinace) než s reálnou potřebou cestovat. S ohledem na velikost ČR je vnitrostátní letecká doprava naprosto zanedbatelná.



Graf 2: Vývoj přepravních výkonů v osobní dopravě
(Jandová, 2016)

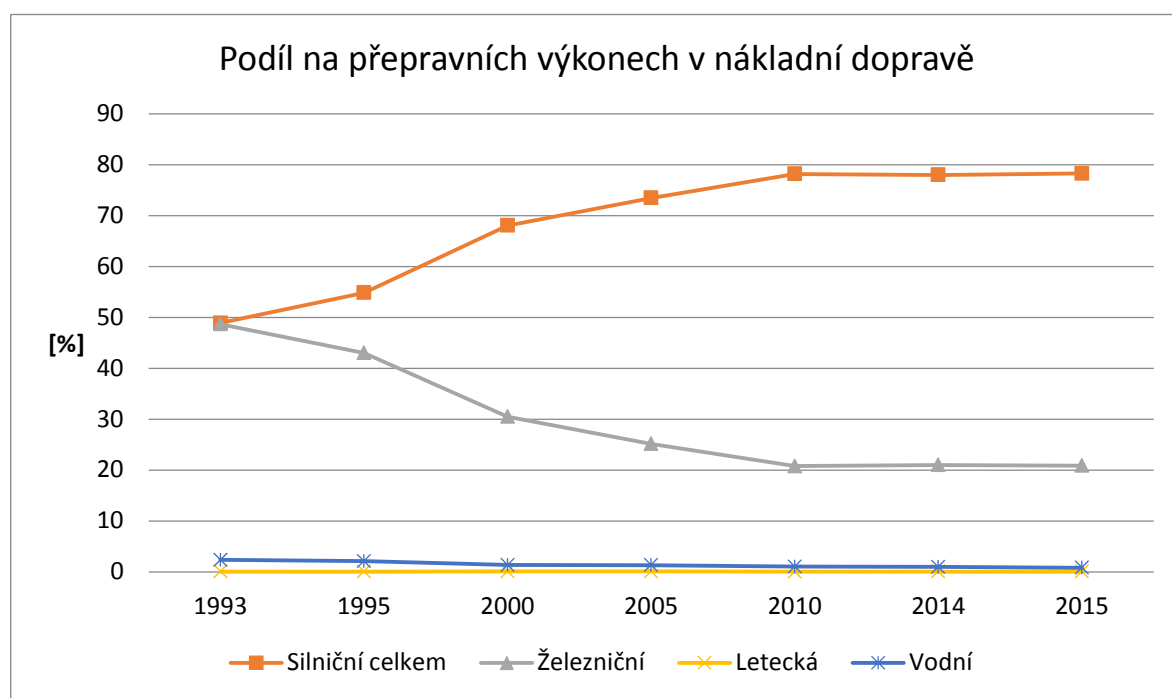
V rámci přepravních výkonů silniční nákladní dopravy byl po mírném poklesu v roce 2009, v letech 2010 – 2014 kolísavý trend s nárůstem v předběžných číslech roku 2015. Přepravní výkony udávají výkony českých vozidel nejen v ČR, ale i v zahraničí. V některých letech vzniká zdánlivý rozpor mezi poklesem spotřeby paliv a růstem výkonů

v nákladní dopravě, který však lze vysvětlit mimo jiné poklesem mezinárodního tranzitu, uváděním vozidel s nižší spotřebou paliv na trh a rozdílnou cenou pohonných hmot v okolních státech (absence čerpání drahých pohonných hmot na území ČR).

Železniční nákladní doprava zaznamenala v roce 2009 pokles, od roku 2010 pak vykazuje kolísavý trend s nárůstem v roce 2015.

Vodní doprava je v ČR z pohledu objemů přepravy oproti ostatním kategoriím nevýznamná.

Z předchozího grafu č. 2 je patrný značný nárůst objemu letecké dopravy, ale i vodní dopravy vůči referenčnímu roku 1993. Přesto je významný také nárůst silniční dopravy v řádu desítek procent, protože se tak děje z mnohem většího základu. Nárůst objemu letecké dopravy lze přičíst patrně také výraznému zlevnění některých kategorií letů.

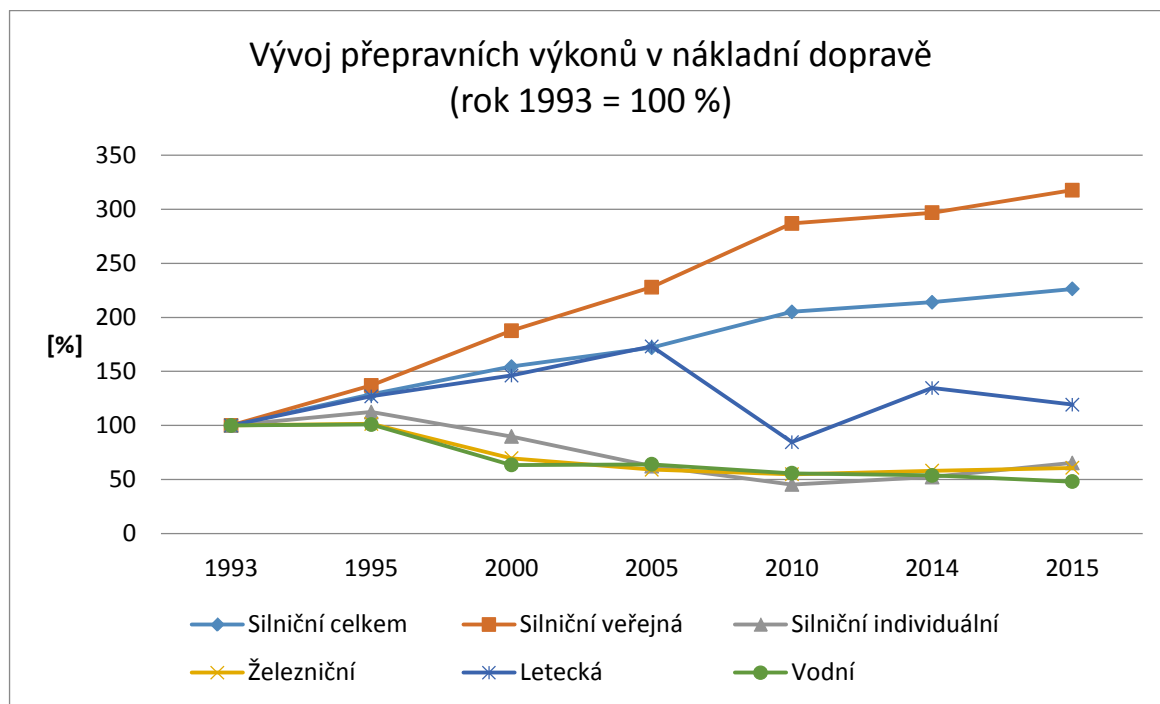


*Graf 3: Podíl na přepravních výkonech v nákladní dopravě
(Jandová, 2016)*

Z grafu č. 3 je patrný nepříznivý trend přesouvání nákladní dopravy z železnice na silnici. Zatímco v roce 1993 byl podíl objemu železniční a silniční nákladní dopravy vyrovnaný, v letech 1993 – 2010 došlo k prudkému navýšení dopravy silniční až na 80% celkových přepravních výkonů právě na úkor dopravy železniční. Produkce škodlivin

do ovzduší z železniční dopravy je přitom výrazně nižší, zvláště s rostoucí elektrifikací tratí.

Nárůst objemů nákladní dopravy v posledních letech názorně ilustruje graf 4.



Graf 4: Vývoj přepravních výkonů v nákladní dopravě
(Jandová, 2016)

2.8 Omezování negativních vlivů dopravy na kvalitu ovzduší

Vývoj účinné strategie pro snížení znečištění ovzduší ve městech a redukci emisí skleníkových plynů z dopravy je komplexním úkolem, jenž vyžaduje opatření na různých úrovních, např. územním plánováním, orientací na úsporné systémy (veřejná doprava), technologie vozidel, tvorba cen v oblasti paliv, předpisy pro vozidla a ukazatele snížení emisí (Kurfürst, 2008).

2.8.1 Emisní normy EURO

Předpisy Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) upravují podmínky schvalování technické způsobilosti vozidel.

První emisní norma v Evropě začala platit v roce 1971 – předpis č. 15 EHK. Koncem osmdesátých let je po mnoha přepracováních tato vyhláška nahrazena novým předpisem č. 83 EHK - Jednotná ustanovení pro schvalování z hlediska emisí

znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo. Ten je základem pro nové emisní předpisy vycházející v rámci jednotné legislativy ve státech Evropské unie. Tyto emisní předpisy se začaly nazývat normami EURO. První EURO norma vznikla v roce 1992 a od té doby téměř pravidelně každé čtyři roky vychází nová emisní norma EURO, přehled jednotlivých norem se uveden v rámci tabulky 2 (Kurfürst, 2008).

**Tabulka 2: Emisní normy EURO pro osobní vozidla
(DieselNet, 2017)**

Předpis	Zavedení od	Maximální hodnota emisí [g.km ⁻¹]							
		Nafta				Benzín			
		CO	HC NO _x	NO _x	PM	CO	HC	NO _x	PM
EURO 1	07/1992	2,72	0,97	-	0,14	3,16	0,97		-
EURO 2	01/1996	1,00	0,70	-	0,08	2,20	0,50		-
EURO 3	01/2000	0,64	0,56	0,50	0,05	2,30	0,20	0,15	-
EURO 4	01/2005	0,50	0,30	0,25	0,025	1,00	0,10	0,08	-
EURO 5	09/2009	0,50	0,23	0,18	0,005	1,00	0,10	0,06	0,005
EURO 6	09/2014	0,50	0,17	0,08	0,005	1,00	0,10	0,06	0,005

EURO je závazná emisní norma stanovující maximální hodnoty výfukových exhalací. Omezuje množství oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO_x) a množství pevných částic (PM). Hodnoty škodlivin jsou uváděny pro osobní a malé nákladní automobily v miligramech na ujetý kilometr. Ostatní látky obsažené ve výfukových plynech (např. oxid uhličitý, sirné sloučeniny) tato norma neřeší, obsah sirných sloučenin je omezen povoleným množstvím síry v palivu a množství CO₂ rovněž závisí od obsahu uhlovodíků v palivové směsi.

**Tabulka 3: Emisní normy EURO pro lehká užitková vozidla nad 1760 kg
(DieselNet, 2017)**

Předpis	Zavedení od	Maximální hodnota emisí [g.km ⁻¹]							
		Nafta				Benzín			
		CO	HC NO _x	NO _x	PM	CO	HC	NO _x	PM
EURO 1	07/1992	6,90	1,70	-	0,25	6,90	1,70		-
EURO 2	01/1996	1,50	1,20	-	0,17	5,00	0,80		-
EURO 3	01/2000	0,74	0,86	0,78	0,10	5,22	0,29	0,21	-
EURO 4	01/2005	0,74	0,46	0,39	0,06	2,27	0,16	0,11	-

Předpis	Zavedení od	Maximální hodnota emisí [g.km ⁻¹]							
		Nafta				Benzín			
		CO	HC NO _x	NO _x	PM	CO	HC	NO _x	PM
EURO 5	09/2009	0,74	0,350	0,28	0,005	2,27	0,16	0,082	0,005
EURO 6	09/2014	0,74	0,215	0,125	0,005	2,27	0,16	0,082	0,005

Pro malé nákladní automobily platí rozdílné hodnoty definované podle hmotnosti vozu a shodné limity platí i pro osobní vozidla nad 2500 kg v kategoriích EURO1 až EURO4. Tabulky jsou rozděleny podle hmotnosti vozidla (do 1305 kg, 1305 až 1760 kg a nad 1760 kg). Pro názornost je uvedena pouze tabulka pro lehká užitková vozidla nad 1760 kg.

Pro autobusy a nákladní vozidla nad 3500 kg na rozdíl od emisních limitů pro lehké nákladní automobily jsou limity pro emise vozidel vyjádřeny v gramech na kWh výkonu motoru.

Tabulka 4: Emisní normy EURO pro těžká nákladní vozidla a autobusy (DieselNet, 2017)

Předpis	Zavedení od	Test	Maximální hodnota emisí [g.kWh ⁻¹]			
			CO	HC	NO _x	PM
EURO I	1992 (<85 kW)	ECE R-49	4,50	1,10	8,00	0,612
	1992 (>85 kW)		4,50	1,10	8,00	0,36
EURO II	10/1996		4,00	1,10	7,00	0,25
	10/1998		4,00	1,10	7,00	0,15
EURO III	10/2000	ESC	2,10	0,66	5,00	0,10/0,13
EURO IV	10/2005		1,50	0,46	3,50	0,02
EURO V	10/2008		1,50	0,46	2,00	0,02
EURO VI	01/2013		1,50	0,13	0,40	0,01

2.8.2 Techniky snižování emisí z výfukových plynů

Množství vypouštěných znečišťujících látek obsažených ve výfukových plynech můžeme do určité míry snižovat různými technologickými způsoby a prostředky. To je technicky proveditelné ve dvou základních rovinách:

- **omezením vzniku emisí při samotném procesu spalování**, např. úpravou spalovacích komor, změnou rozložení paliva, regulací spalovacího vzduchu, změnou kompresního poměru, zvýšením celkové účinnosti apod. – tzv. primární snižování emisí,
- **doplněním technologických prvků** pro omezení a přeměnu již vzniklých škodlivin na výfuku spalin ze spalovacího procesu, tzv. sekundární snižování emisí.

2.8.2.1 Snižování spotřeby paliva

Snižování spotřeby paliva, zejména v Evropě je trend, ke kterému jsou výrobci tlačeni poptávkou a konkurencí. Poptávku vytváří čistě ekonomické zájmy spotřebitelů, neboť cena paliva je výraznou složkou celkové ceny za ujetý km.

Technicky je snižování spotřeby dosahováno použitím kvalitnějších technologií při výrobě motorů a celkovou lepší účinností spalování na straně jedné, a dále zdokonalováním aerodynamických vlastností vozidel, tedy snižováním pasivních odporů překonávaných motorem při jízdě, na straně druhé.

Negativní vliv na spotřebu naopak mají legislativní požadavky na celodenní svícení a prostředky pro zpomalování dopravy ve městech - retardéry, ostrůvky uprostřed komunikací apod.

Opatření vedoucí ke snižování spotřeby paliva, např. hojně používané přeplňované motory, však mohou vést ke zvýšení podílu oxidů dusíku ve výfukových plynech.

2.8.2.2 Složení paliva

Paliva využívaná v dopravě jsou směsí uhlovodíků, získávaných nejčastěji z ropy. Ropa se těží v různých oblastech planety Země a má podle místa původu rozdílné složení a kvalitu. Nejpodstatnějším faktorem je pravděpodobně obsah síry. V palivech jsou obsažena také různá aditiva (přidané látky) pro snazší chod a snížení opotřebení motoru.

Jelikož při spalovacím procesu nedochází k jaderným přeměnám, obsahují výfukové plyny jen sloučeniny těch prvků, které do spalovacího procesu přivedeme v podobě paliva nebo spalovacího vzduchu. Složení prodáváných paliv je určeno technickými normami ČSN EN 228 pro benzín a ČSN EN 590 pro motorovou naftu. Z prodeje již dávno vymizel benzín s obsahem olova, olovnaté sloučeniny byly nahrazeny

jinými příměsemi. Rovněž obsah síry je v motorové naftě a v benzínu prodávaných v ČR limitován a síra musí být z nafty odstraněna již v rafinériích.

2.8.2.3 Katalyzátory

Katalyzátor (obrázek 6) je zařízení, snižující emise výfukových plynů, vznikající nedokonalostí spalovacího procesu a přeměňující škodlivé látky pomocí chemických reakcí na další méně nebezpečné látky - vodu, oxid uhličitý a dusík (Saidl, 2016).

V automobilech je katalyzátorem pro chemickou reakci vrstva vzácných kovů nanesených na reakční plochy nosiče. Obvykle se používají směsi platiny (oxidační část) a rhodia (redukční část). Při teplotách 300 – 600 °C vznikají chemické reakce, které snižují obsah škodlivých složek. Nejdříve dochází ke štěpení oxidů dusíku na dusík (N_2) a kyslík (O_2), následuje spojení kyslíku s oxidem uhelnatým a uhlovodíky. Výsledkem je nejedovatý oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O). V současné době je katalyzátor schopen odstranit až 97 % uhlovodíků, 96 % oxidu uhelnatého a 90 % oxidů dusíku. Použití katalyzátoru ve výfukové soustavě vyžaduje užívání bezolovnatého benzínu, protože olovo ničí katalytický účinek vzácných kovů (Saidl, 2016).



Obrázek 6: Katalyzátor
(Saidl, 2016)

Při studených startech, tj. každém zahřátí motoru, kdy není motor zahřátý na provozní teplotu, není katalyzátor účinný, jelikož funguje teprve od teploty cca 300 °C. Pro dosažení této teploty je zapotřebí jistý čas. Pro zkrácení této doby je nutné zařadit do výfukové soustavy rozměrově menší předkatalyzátor umístěný blíže k motoru (Saidl, 2016).

Podle množství škodlivin, které je schopen katalyzátor účinně likvidovat se dělí katalyzátory na **dvoucestné** a **třícestné**. Dále rozlišujeme katalyzátory **keramické** (s keramickou vložkou) a **kovové** (s kovovou vložkou) (Saidl, 2016).

2.8.2.4 Selektivní katalytická redukce

Technologie SCR (Selektivní katalytická redukce) je suchá denitrifikační metoda, jejímž principem je reakce NO_x s plynným čpavkem, který je k tomuto účelu do spalín dávkován na dusík. Reakce probíhá při teplotách nad 300°C na katalyzátoru (Lapčík, 2011). V automobilovém průmyslu se používá k dosažení emisní úrovně EURO4-6 u dieselových motorů. Jako aditivum se používá směs močoviny známá pod obchodním označením AdBlue.

2.8.2.5 Filtry pevných částic

Používá se u dieselových motorů a slouží k omezení množství pevných částic průchodem výfukových plynů přes porézní keramické vložky. Zachytáváním částic na filtru se filtr postupně zanáší. Zanesený filtr snižuje výkon a účinnost motoru, proto je důležitá jeho pravidelná údržba.

3 KVALITA OVZDUŠÍ VE MĚSTĚ OSTRAVA

Ochrana ovzduší je jednou z priorit ochrany životního prostředí. Co se týče znečištěného ovzduší, Ostravsko se dlouhodobě řadí k nejhorším místům v České republice. Tento stav souvisí zejména s objemem těžkého průmyslu v dané lokalitě (Navrátilová, 2007).

3.1 Charakteristika oblasti Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek

Aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek patří k nejvíce urbanizovaným a průmyslovým oblastem ve střední Evropě. Geograficky je tvořena jihozápadním územím Hornoslezské pánve. Toto území je historicky zatížené rozsáhlou průmyslovou činností. Důvodem znečištění ovzduší v oblasti je vysoká koncentrace těžkého průmyslu, vysoká hustota zástavby s lokálním vytápěním a zahuštěná dopravní infrastruktura na obou stranách česko-polské hranice. Specifickým problémem oblasti této jsou také např. emise z prohořívajících odvalů (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Obce na většině území aglomerace na sebe navzájem bezprostředně navazují, průmyslové areály jsou součástí měst. Koncentrace suspendovaných částic měřené na stanicích, které jsou klasifikovány jako pozad'ové, jsou výrazně vyšší než na obdobně klasifikovaných stanicích v ostatních částech ČR. Příčinou jsou vysoké produkce škodlivin zdroji na české straně hranice, ale i přeshraniční výměna znečištění ovzduší se sousední Polskou republikou. V této oblasti dochází k nejčastějšímu překračování imisních limitů (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

Výsledky monitoringu PM_x částic, SO_2 , CO a NO_x , který byl započat v 80. letech minulého století, vykazují v současné době mírný pokles znečištění. Tento počáteční úspěch byl způsoben významným snížením znečištění ovzduší v roce 1990, což je obvykle chápáno jako výsledek nové české legislativy. Od roku 2000 emisní trendy hlavních látek znečišťujících ovzduší spíše stagnují (Šauer, 2014).

3.2 Zdroje znečišťování ovzduší v Ostravě

Nejvýznamnější znečišťující látkou na Ostravsku je prach. Jeho součástí je řada nebezpečných chemických látek (organické sloučeniny, těžké kovy a jiné) (Jančík et al., 2013).

Typickými původci znečištění ovzduší v Ostravě jsou:

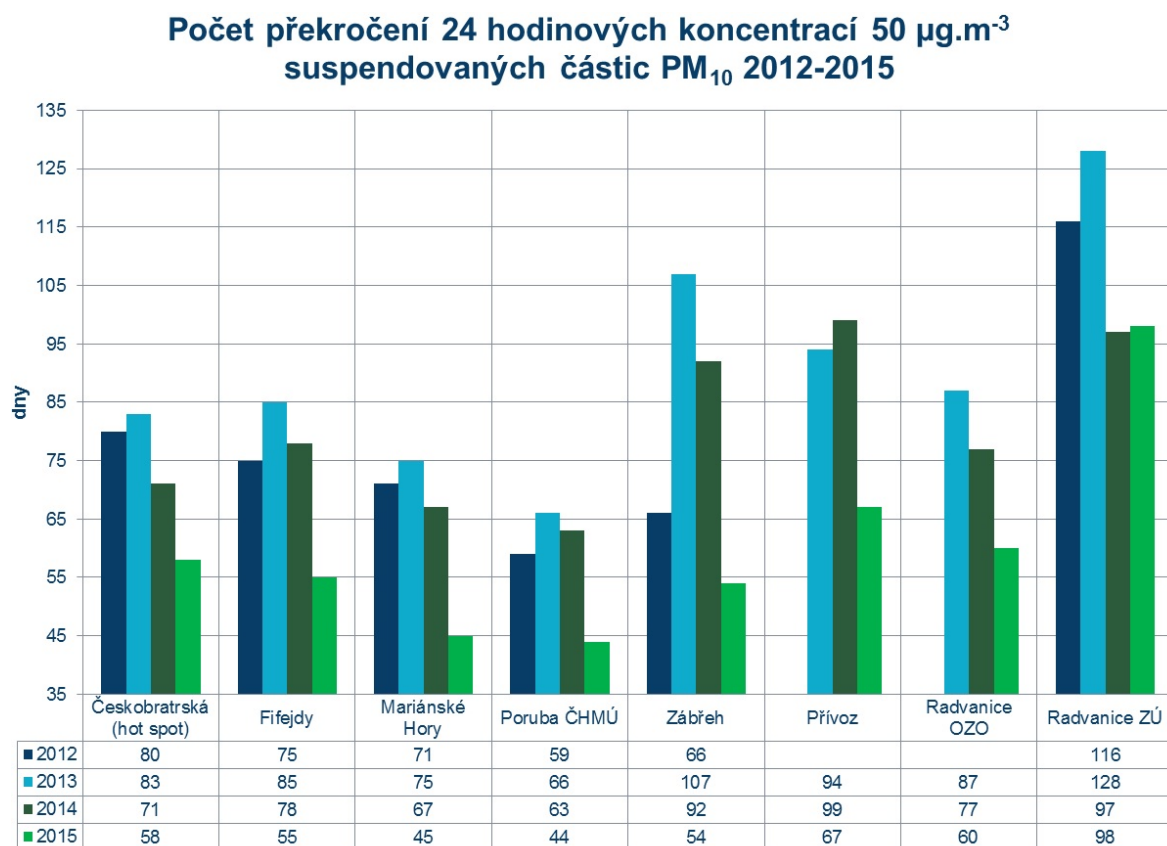
- **průmysl** - od nepaměti je neodmyslitelnou součástí Ostravy (hutě, elektrárny a koksovny, chemické závody). Z hlediska množství vypouštěných znečišťujících látek je tato skupina zdrojů na území města nejvýznamnější. Průmyslové zdroje mají legislativně stanoveno množství znečištění, jejich provozovatelé odvádějí státu poplatky, podle množství znečištění, za překročení emisního limitu jsou pokutováni, z toho tedy vyplývá, v současnosti pozitivní trend, snižování vypouštěných emisí,
- **lokální topeniště** – malé energetické zdroje určené k vytápění rodinných domků a bytů. Kotle, mnohdy zastaralé, nejsou používány v souladu s doporučením výrobců. Přes v Ostravě rozšířený dálkový rozvod tepla a husté pokrytí plynovodnou sítí, obyvatelé některých městských částí topí z ekonomických důvodů pevnými palivy, což lokálně negativně ovlivňuje kvalitu ovzduší,
- **automobilová doprava** – významný zdroj znečišťování ovzduší. S přibývajícím množstvím aut a poklesem průmyslového znečištění nabývá na významnosti. Znečištění způsobované automobilovou dopravou je v Ostravě největší především okolo rušných komunikací, na velkých křižovatkách a v centru města. Jedná se o výfukové plyny, množství znečišťujících látek z otěrů pneumatik, brzd a povrchu vozovek a v suchých obdobích i znovu zviřený prach usazený na komunikacích, tzv. resuspenze,
- **dálkový přenos, znečištění z Polska** (Jančík et al., 2013).

3.3 Kvalita ovzduší v Ostravě

V Ostravě došlo ke zlepšení imisní situace v 90. letech minulého století jednak díky poklesu průmyslové výroby a díky zavedení nové právní úpravy ochrany ovzduší, ale také vnášením investic do ekologických opatření a používáním šetrných technologií (Blažek, 2008). Přesto jsou stále dlouhodobě překračovány imisní limity pro suspendované částice (PM) a perzistentní organické látky, jejichž představitelem je karcinogenní benzo[a]pyren (Český hydrometeorologický ústav, 2015).

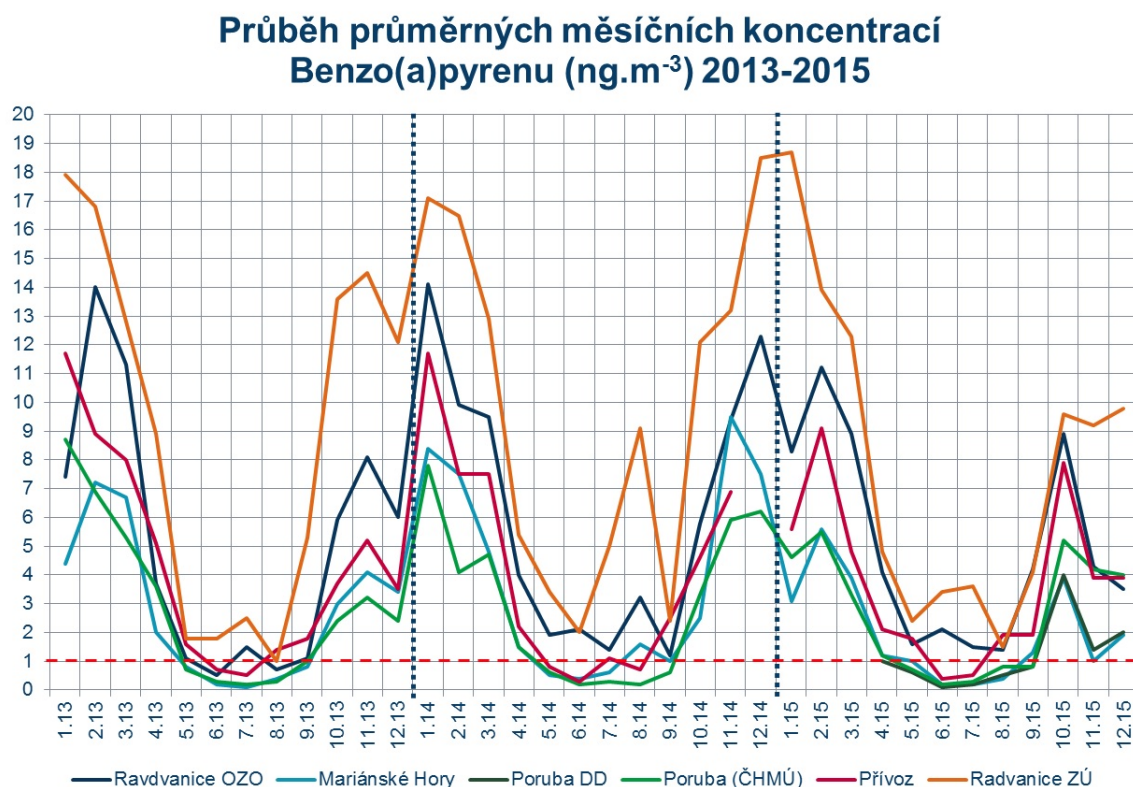
Suspendované částice PM₁₀ – v období 2012–2015 došlo k postupnému snížení koncentrací suspendovaných částic PM₁₀. Imisní limit průměrných ročních koncentrací

suspendovaných částic PM_{10} byl překročen pouze v lokalitě Radvanice (viz obrázek 7). Na snížení koncentrací mělo nejspíše vliv více faktorů, zejména jsou to dobré rozptylové podmínky a opatření ke snížení emisí, provedených na velkých zdrojích znečištění ovzduší (Statutární město Ostrava, 2016).



Obrázek 7: Počet překročení 24 hodinových koncentrací PM_{10} za 2012-2015
(Statutární město Ostrava, 2016)

Benzo[a]pyren - Koncentrace benzo[a]pyrenu v Ostravě dlouhodobě překračují stanovený limit. Z průměrných ročních koncentrací za období 2012 - 2015 je patrný pozitivní, sestupný trend (viz obrázek 8). V případě imisní monitorovací stanice Radvanice však byly všechny měřené hodnoty v průběhu celého roku vyšší než $1 ng.m^{-3}$. Nejvyšší koncentrace benzo[a]pyrenu jsou zaznamenávány imisními monitorovacími stanicemi umístěnými v blízkosti průmyslových zdrojů, avšak nezanedbatelný vliv mají lokální topeniště (Statutární město Ostrava, 2016).



**Obrázek 8: Počet průměrných měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu 2013-2015
(Statutární město Ostrava, 2016)**

Oxid dusičitý - V případě NO₂ došlo v letech 2012 a 2013 k překročení ročního imisního limitu na stanici Českobratrská (Hot spot). Lze ale předpokládat, že k překročení limitu došlo také na dalších dopravně exponovaných místech, kde není znečištění ovzduší sledováno (Ministerstvo životního prostředí, 2015).

- silnice I/11 (Rudná – Tř. 17. listopadu – Opavská) ve směru Havířov – Opava,
- silnice II/479 (28. října),
- silnice I/56 (Místecká) ve směru na Frýdek – Místek a na Beskydy,
- silnice I/58 (Plzeňská) a II/647 (Mariánskohorská) v severo-j jižním směru,
- dálnice D1 ve směru Přerov – Bohumín.

Významné křižovatky pak tvoří křížení výše uvedených silnic, zejména Plzeňská - Rudná, D1 - Rudná, Plzeňská – Mariánskohorská - 28. října. Největší zatížení v těsné blízkosti hustě zastavěných obytných částí pak je možno vysledovat např. na silnici Rudná ve Vítkovicích a na silnici 17. listopadu v Porubě.

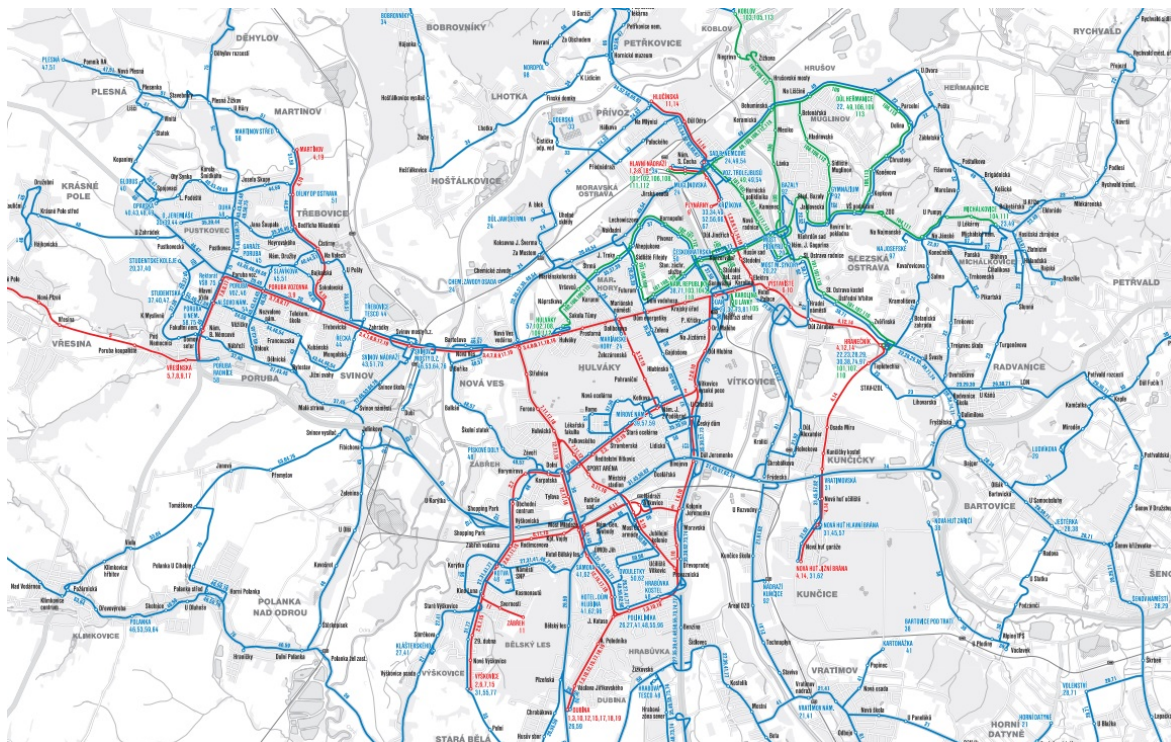
Situace dopravní sítě v Ostravě je dána také přírodní lokalitou. Ostrava leží na soutoku tří velkých řek Opavy, Ostravice a Odry. Přitom na území Ostravy existuje jediný silniční most přes řeku Opavu, a to most dálniční. Dále je zde docela řídké dopravní spojení obou břehů řeky Odry.

Kolem řeky Odry je rovněž řídká zástavba, resp. proluka zástavby, a řeka tak dopravně rozděluje město na západní a východní část. To je důvodem větší územní rozlehlosti Ostravy (menší hustota obyvatel) ve srovnání např. s Brnem, zvýšení délky obslužných komunikací a tím i celkové zátěže z emisí z dopravy.

4.2 Městská hromadná doprava

Ostrava je zapojena do integrovaného systému Moravskoslezského kraje ODIS a městské autobusy kooperují s autobusy příměstskými, což zvyšuje uživatelský komfort. Město Ostrava částečně finančně dotuje městskou hromadnou dopravu, čímž ji podporuje zejména před dopravou individuální.

Městská hromadná doprava v Ostravě, kterou zajišťuje Dopravní podnik Ostrava, a.s. (DPO), je postavena na páteřní tramvajové síti, doplněné v centru několika trolejbusovými linkami. Dopravu ve větší části území, hlavně v okrajových částech, pak pokrývají městské autobusy.



Obrázek 10: Síť linek DPO

zdroj: <http://www.dpo.cz/soubory/jr/sit-linek-dpo-2016-02-28.pdf>

Tramvajové propojení přes Odru je dokonce jediné, a to na silnici Opavské. V oblasti Vítkovic je tramvajová doprava zokruhována. Snahy zavést tramvajovou dopravu do části Pustkovec a případné zokruhování větve vozovna Poruba a vozovna Martinov narážejí na nepochopení u značné části místních obyvatel, viz petice „Porubská výzva“, dostupná na webových stránkách: <http://porubskavyzva.cz/>.

5 VÝPOČET IMISÍ Z DOPRAVY NA STANOVENÉM ÚSEKU

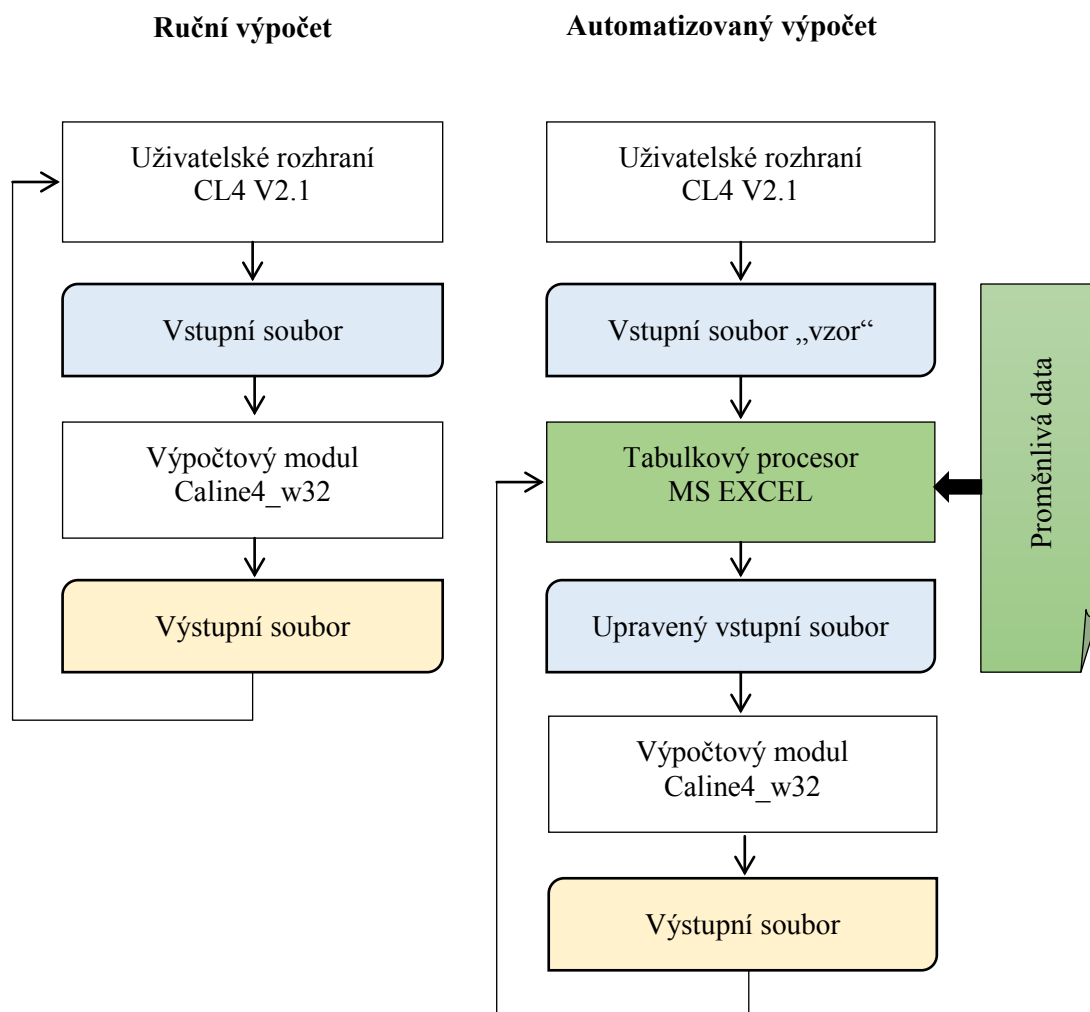
Úkolem této diplomové práce bylo stanovení imisí v oblasti křížení silnic:

- silnice I. třídy bez statutu mezinárodní silnice č. 11, Rudná,
- silnice I. třídy bez statutu mezinárodní silnice č. 59, Fryštátská,
- silnice II. třídy č. 479, Těšínská.

Uvedené komunikace se nacházejí v lokalitě Ostrava-Bartovice, kde je také umístěna měřicí imisní stanice TOREK Ostrava. Výpočet imisí byl stanoven na základě sčítání intenzity dopravy v měsících říjnu a listopadu roku 2014. Data ze sčítání dopravy jsou převzata z diplomové práce ing. Šárky Linhartové (Linhartová, 2015), údaje o počasí (teplota, směr a rychlost větru) z grafu měřicí stanice TOREK Ostrava.

K výpočtu imisí byl použit program CALINE 4. Tento program je vytvořený firmou Sonoma Technology, Inc. pro kalifornské Ministerstvo dopravy, oddělení environmentální analýzy v srpnu 2011. Je sestavený jako konzolová aplikace (výpočtový modul). Parametry aplikace jsou název vstupního a výstupního souboru. Vstupní soubor obsahuje vstupní data v definovaném formátu, do výstupního souboru program zapisuje vypočtené hodnoty. Aplikace je vybavena uživatelským rozhraním, do kterého jsou zapisovány přehledným způsobem vstupní údaje pro výpočet. Při spuštění výpočtu tato aplikace přepíše hodnoty do vstupního souboru, spustí výpočtový modul a po doběhnutí výpočtu zobrazí data uložená ve výstupním souboru. Tento poměrně komplikovaný způsob práce aplikace umožňuje vstupovat mezi uživatelské rozhraní a programově měnit soubor vstupních dat a číst výstupní soubor. Výpočet je tak možno automatizovat, vytvořit základní vzorový vstupní soubor, ve kterém se následně bude měnit jen ta část dat, která je při sledování dat v průběhu času proměnlivá.

Pro zautomatizování výpočtu bylo využito prostředí tabulkového procesoru MS Excel, kde byla prováděna výměna dat a odkud byla spouštěna konzolová aplikace pro výpočet. Při práci s uživatelským rozhraním je třeba vzít v úvahu, že se jedná o program pocházející z USA, je tedy potřebné pracovat s desetinným oddělovačem tečkou namísto čárky, v opačném případě není možné do uživatelského rozhraní zadávat desetinná čísla.



Obrázek 11: Schéma automatizace výpočtu v MS EXCEL

5.1 Program CALINE 4 - uživatelské rozhraní CL4 v2.1

Vstupy programu jsou rozdělené do několika logických bloků na jednotlivých záložkách uživatelského rozhraní.

5.1.1 Pracovní parametry (Job Parameters)

CL4 v2.1

Job Parameters | Run Conditions | Link Geometry | Link Activity | Receptor Positions | Results | Help | About

Job Filename: C:\Users\Public\Documents\DIPLMKA_2016\caline4\Input-Output\caline_PM_OA.dat Browse

Job Title: Caline PM_OA Reset

Pollutants

Pollutant Type: ☐ Carbon Monoxide ☐ Nitrogen Dioxide ☒ Particulates

Molecular Weight: n/a Settling Velocity: 0.23 cm/s Deposition Velocity: 0.23 cm/s

Aerodynamic Roughness Coefficient: ☐ Rural ☒ Suburban ☐ Central Business District ☐ Other: centimeters

Run Type

☒ Standard ☐ Worst-Case Wind Direction ☐ Multi-Run ☐ Multi-Run / Worst-Case Hybrid

Model Information

Link/Receptor Geometry Units: ☒ Meters ☐ Feet Altitude Above Sea Level: 230 meters

Number of Links: 8 Number of Receptors: 1 Averaging Interval: 1 hour

Save Save As... Run Caline4 Close CL4

Obrázek 12: Pracovní parametry CALINE 4 (Caltrans, 2017)

Na úvodní obrazovce se vstupními parametry se kromě pracovního názvu a názvu souboru volí typ polutantu, molární hmotnost, rychlost usazování, depoziční rychlost, aerodynamický koeficient drsnosti, způsob běhu programu, jednotky a nadmořská výška.

Typ polutantu - lze volit možnosti CO/NO₂/PM. Vzhledem k tomu, že stanice TOREK Ostrava měří imise všech těchto polutantů, výpočet byl proveden postupně pro všechny nabízené možnosti. Volba „Pevné částice (PM)“ umožňuje výpočet pro zvolenou velikost částic, např. PM₁₀, zadáním odpovídajícího emisního faktoru v následujících záložkách.

Molární hmotnost – volí se automaticky podle vybraného polutantu.

Rychlost usazování – byla vypočtena hodnota 0,23 cm.s⁻¹ na základě Stokesovy rovnice, která platí pro malé rychlosti proudění a pro velikost usazovaných částic řádově větších než velikost molekul prostředí, což je pro prach splněno (Bartovská, 2005).

$$u_{sed} = \frac{2}{9} \frac{(\rho - \rho_0)}{\eta_0} \cdot r^2 \cdot g$$

kde: u_{sed} ... rychlost usazování [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],
 ρ ... hustota částic [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], zvoleno odhadem $725 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
 ρ_0 ... hustota prostředí [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], zvoleno pro vzduch $1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
 η_0 ... dynamická viskozita [$\text{Pa} \cdot \text{s}$], pro vzduch $1,71 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$,
 r ... poloměr velikosti částic [m], $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$,
 g ... gravitační konstanta $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Fyzikální vlastnosti převzaty z převodních tabulek jednotek (Bureš, 2002).

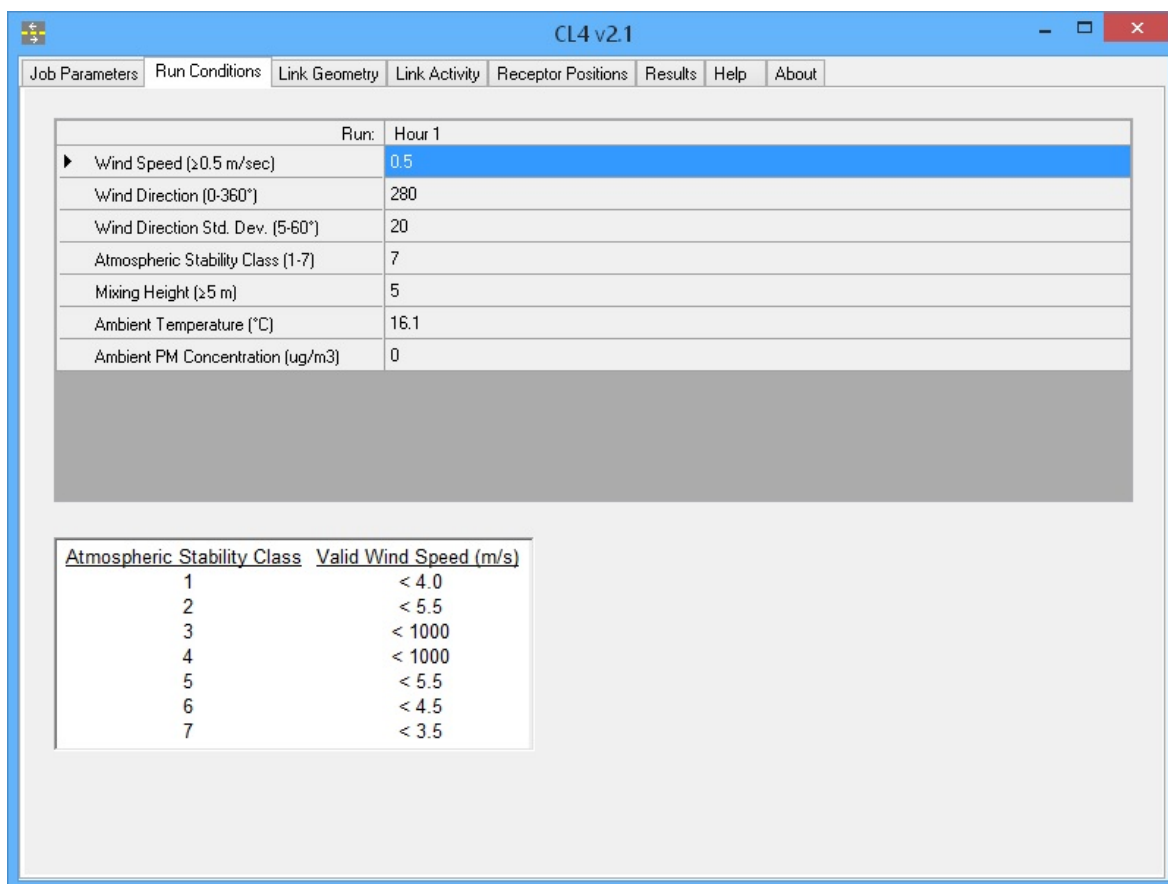
Depoziční rychlost - byla zvolena hodnota $0,23 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ (Zapletal, 2012, s. 26)

Aerodynamický koeficient drsnosti - byl zvolen typ „Suburban“ - předměstí, který nastavuje hodnotu 100 cm (Caltrans, 2017).

Způsob běhu programu - byl vybrán jako „Standard“, který umožňuje výpočet jednohodinových koncentrací škodlivin v závislosti na směru a rychlosti větru (Caltrans, 2017).

Nadmořská výška – byla odečtena z mapy hodnota 230 m. n. m. (zdroj: www.mapy.cz).

5.1.2 Spouštěcí podmínky (Run Conditions)

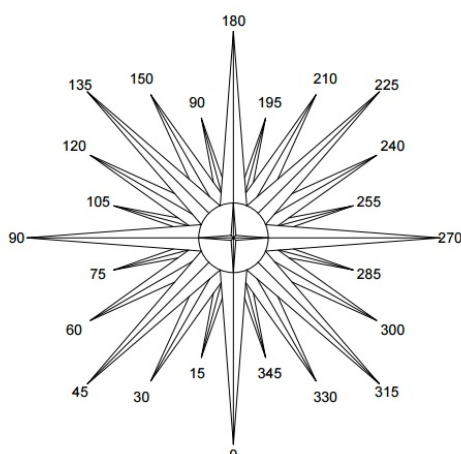


Obrázek 13: Spouštěcí podmínky CALINE 4
(Caltrans, 2017)

Rychlost větru – je udávána v tomto programu v m.s^{-1} . Minimální rychlost větru, se kterou je program schopen pracovat, je $0,5 \text{ m.s}^{-1}$. Údaje o rychlosti větru ve sledovaném období byly pro potřeby výpočtu převzaty z měřicí stanice TOREK Ostrava. V době, kdy vítr nedosahoval minimální hodnoty, bylo nutné pro potřeby kontinuálního výpočtu provést korekci. Tyto dny jsou označeny v doloženém přehledu dat barevným odlišením, viz přílohy č. 5, 6, 7 na přiloženém CD nosiči.

Směr větru – je zadáván ve stupních. Severnímu větru (vanoucímu od severu směrem na jih) odpovídá 0° a měří se ve směru hodinových ručiček (východní vítr 90° , jižní 180° , západní 270°) (Caltrans, 2017).

Směry větru byly odečteny z dat z měřicí stanice TOREK Ostrava a odhadnuty z grafických značek (šipek) pomocí směrové růžice.



Obrázek 14: Směrová růžice pro odečet směru větru

Standardní odchylka směru větru – umožňuje nastavit odchylku směru větru pro každou hodinu v rozsahu 0° – 60° . Vychází se z doporučených hodnot v nápovědě programu. S ohledem na charakter krajiny byly zvoleny hodnoty doporučené pro údolí.

Tabulka 5: Standardní odchylky směru větru
(Caltrans, 2017)

čas (rozpětí během dne)	velikost standardní odchylky [°]
6:00 – 10:00	5
10:00 – 17:00	20
17:00 – 21:00	5
21:00 – 6:00	10

Třída atmosférické stability – byla zadána v závislosti na rychlosti větru dle omezení pro jednotlivé třídy v programu CALINE 4.

Tabulka 6: Třídy atmosférické stability
(Caltrans, 2017)

rychlost větru – interval [m.s^{-1}]	třída atmosférické stability [-]
<0,5; 3,5)	7
<3,5; 4,5)	6
<4,5; 5,5)	5

Směšovací výška – výška, ve které solární ohřev Země způsobuje teplotní turbulence. Pro potřeby výpočtu je vyžadována výška 5 m (Caltrans, 2017).

Pozad'ové koncentrace polutantů – výpočet jednotlivých polutantů se liší v požadavcích na zadání tzv. pozad'ové koncentrace škodlivin. Při výpočtu koncentrací poléťavého prachu a CO postačí zadat pozad'ové hodnoty těchto polutantů. Při výpočtu koncentrací NO₂ je, s ohledem na v atmosféře probíhající fotolýzu ovlivňující koncentrace NO₂, nutno znát i hodnoty koncentrací NO a O₃. Údaje byly převzaty z odborné zprávy Státního zdravotního ústavu (Státní zdravotní ústav, 2015) z pozad'ové stanice EMEP Košetice, ISKO 1138. Hodnoty koncentrace se zadávají pro PM v $\mu\text{g.m}^{-3}$, u ostatních koncentrací v ppm.

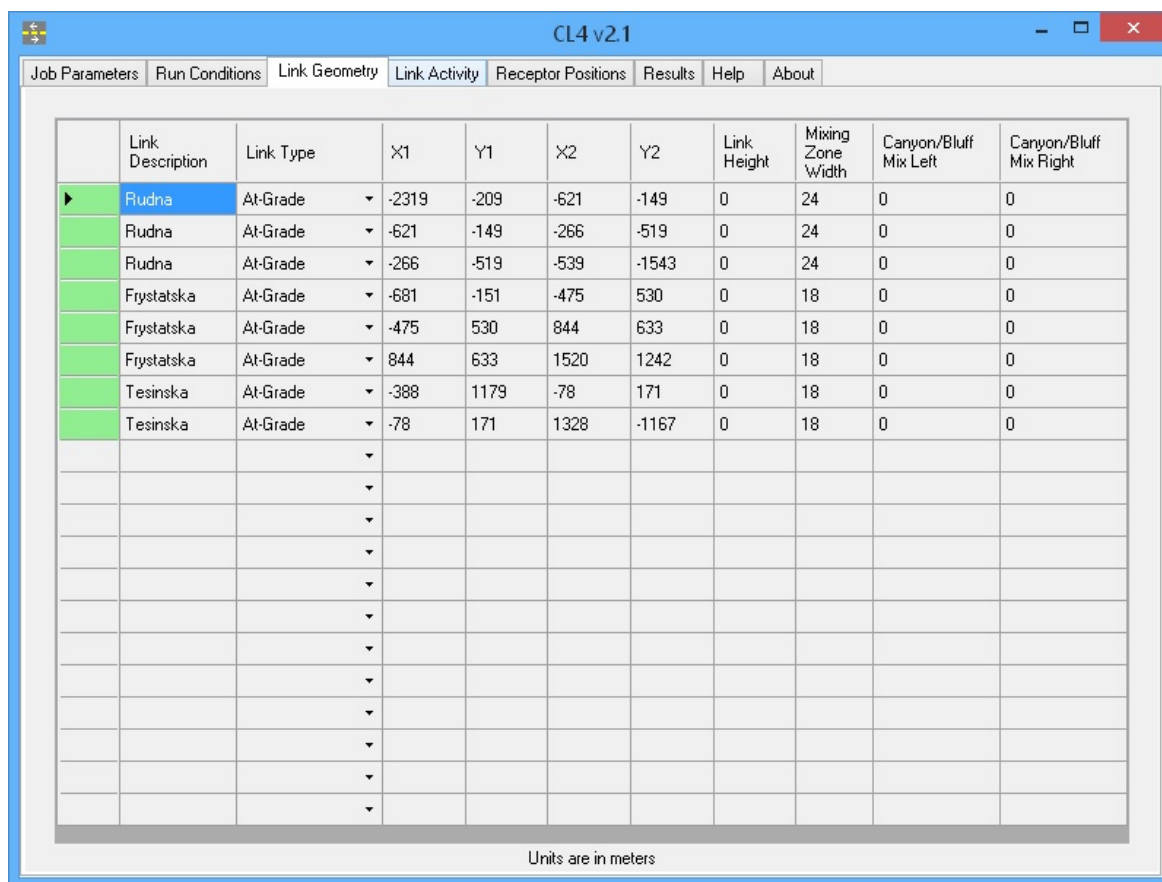
*Tabulka 7: Hodnoty pozad'ových koncentrací vybraných polutantů
(Státní zdravotní ústav, 2015)*

Typ polutantu	hodnota [$\mu\text{g.m}^{-3}$]	hodnota [ppm]
NO	0,9	0,0007
NO ₂	8,4	0,0041
PM	19,0	-
CO	300,0	0,2400
O ₃	61,5	0,0287

Rychlostní konstanta fotolýzy NO₂ - byla zadána hodnota 0,004 s⁻¹ (Caltrans, 2017).

Poměr NO₂/NO_x – poměr množství obou škodlivin ve výfukových plynech při opouštění výfuku. Dle doporučení manuálu CALINE 4 byla zvolena hodnota 0,075 (7,5%) (Caltrans, 2017).

5.1.3 Geometrie vozovek (Link Geometry)

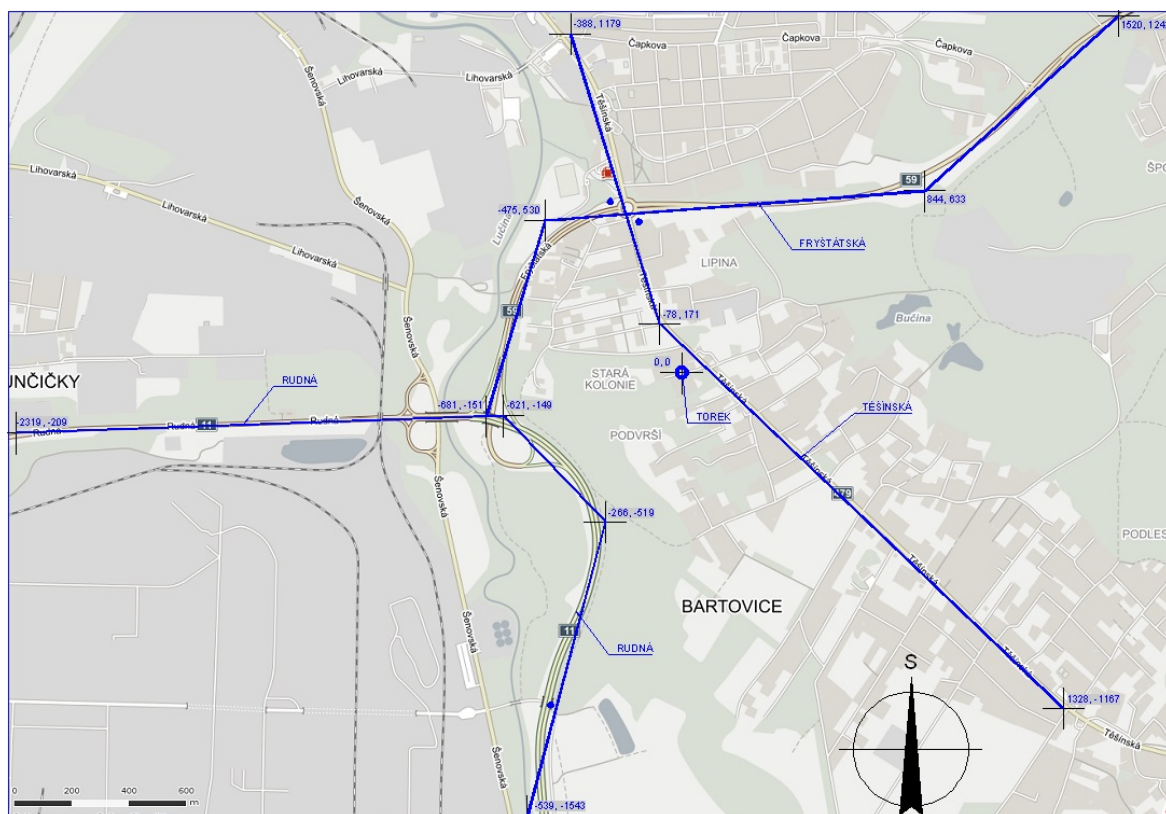


	Link Description	Link Type	X1	Y1	X2	Y2	Link Height	Mixing Zone Width	Canyon/Bluff Mix Left	Canyon/Bluff Mix Right
▶	Rudna	At-Grade	-2319	-209	-621	-149	0	24	0	0
	Rudna	At-Grade	-621	-149	-266	-519	0	24	0	0
	Rudna	At-Grade	-266	-519	-539	-1543	0	24	0	0
	Frystatska	At-Grade	-681	-151	-475	530	0	18	0	0
	Frystatska	At-Grade	-475	530	844	633	0	18	0	0
	Frystatska	At-Grade	844	633	1520	1242	0	18	0	0
	Tesinska	At-Grade	-388	1179	-78	171	0	18	0	0
	Tesinska	At-Grade	-78	171	1328	-1167	0	18	0	0
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								
		▼								

Units are in meters

Obrázek 15: Geometrie vozovek
(Caltrans, 2017)

Zadání vektorů komunikací – jedním ze vstupů programu CALINE 4 je zadání vektorů komunikací. Základní aplikace umožňuje zadat až 20 vektorů komunikace. Tvar komunikací na mapě bylo nutné linearizovat, tedy nahradit úsečkami a převést do kartézských souřadnic. Toto bylo provedeno importováním základní mapy oblasti (zdroj: Mapy.cz, 2017) do aplikace AutoCad. Přes komunikace byly zakresleny zjednodušené trasy sestavené z úseček a vyznačené zlomové body. Mapa byla pro jednoduchost synchronizována do relativních souřadnic s počátkem (bod 0,0) v měřicí stanici TOREK Ostrava, přestože pro samotný výpočet to nebylo nutné, a v případě více měřicích bodů by to ani nebylo možné.



Obrázek 16: Souřadnice vozovek – linearizace
zdroj: www.mapy.cz

Šířka mísicí zóny – odpovídá jednotlivým šířkám vozovek, ke kterým se přičítají z obou stran 3 m. K tomu, aby bylo možné spustit výpočet v programu CALINE 4, minimální šířka musí být 10 m (Caltrans, 2017).

Šířka sledovaných vozovek byla odečtena z mapy (zdroj: www.mapy.cz).

Tabulka 8: Šířka mísicí zóny sledovaných komunikací

Silnice	Šířka mísicí zóny [m]
Rudná	24
Fryštátská	18
Těšínská	18

5.1.4 Aktivita vozovek (Link Activity)

[illegible]

**Obrázek 17: Aktivita vozovek
(Caltrans, 2017)**

5.1.4.1 Intenzita dopravy

Vstupní data pro výpočet intenzity dopravy na dotčených úsecích jednotlivých sledovaných silnic byla získána manuálním odečtem na určených stanovištích studenty Vysoké školy báňské – technické univerzity Ostrava, Hornicko-geologické fakulty (Linhartová, 2015).

Sčítání probíhalo ve vybrané dny a hodiny v pracovních dnech v měsících říjnu a listopadu roku 2014. Intenzity dopravy pro dny a hodiny, které nebyly monitorovány, byly dopočítány pomocí denní variace intenzit dopravy dle Technických podmínek 189 (Bartoš, 2012). Jednotlivé intenzity dopravy byly počítány pro každou kategorii vozidel a pro každou komunikaci zvlášť, viz příloha č. 10.

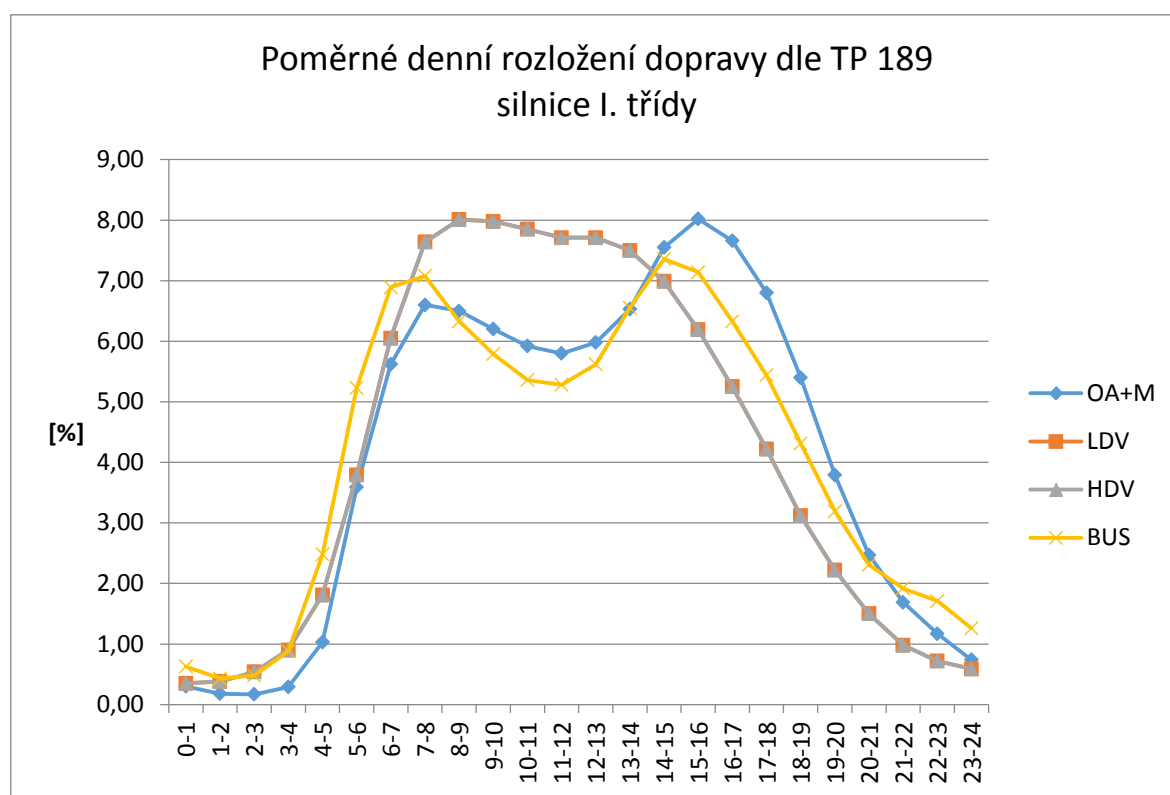
Nejprve byla vypočítána denní intenzita dopravy v jednotlivých hodinách, následně týdenní intenzita dopravy.

Vozidla byla rozdělena do čtyř kategorií dle tabulky dle sčítacího listu (Centrum dopravního výzkumu, 2010).

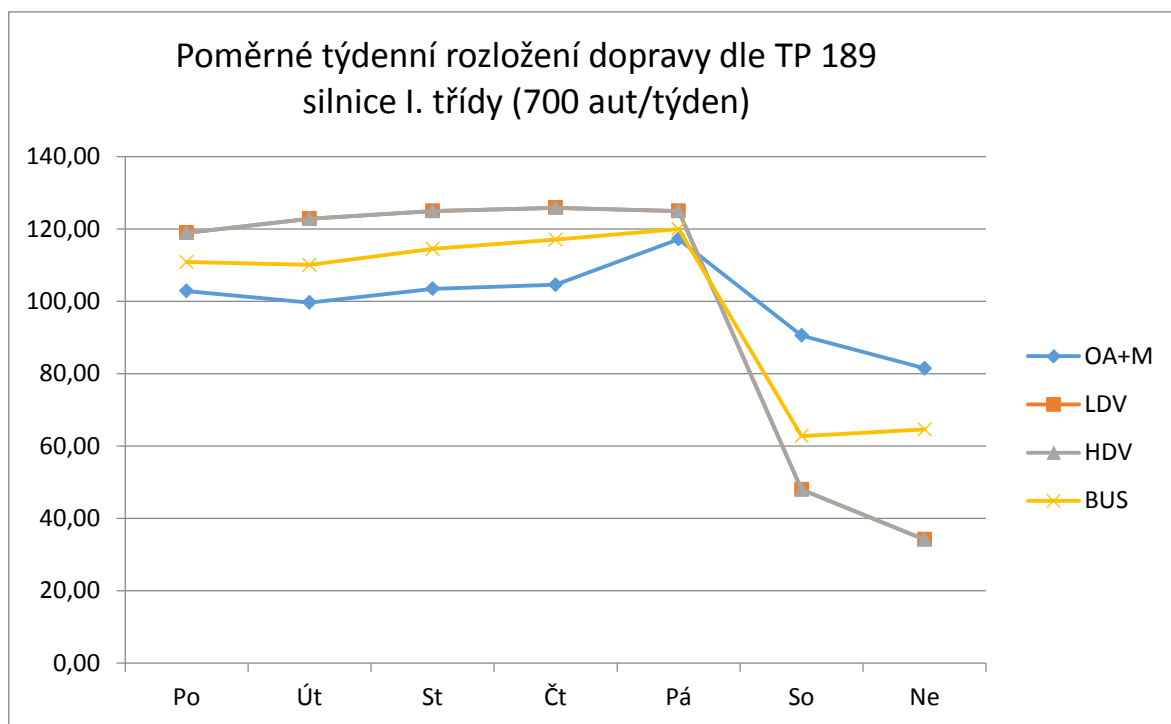
**Tabulka 9: Rozdělení vozidel do jednotlivých kategorií
(Centrum dopravního výzkumu, 2010)**

Kategorie vozidel	Typy vozidel v jednotlivých kategoriích
OA + M	osobní automobily a motocykl, lehké dodávky, sanitky, mikrobusey a osobní vozidla s přívěsem
LDV	lehká nákladní vozidla, celková okamžitá hmotnost do 3,5 t včetně
HDV	střední a těžká nákladní vozidla a návěsové soupravy, celková okamžitá hmotnost nad 3,5 t
BUS	autobusy

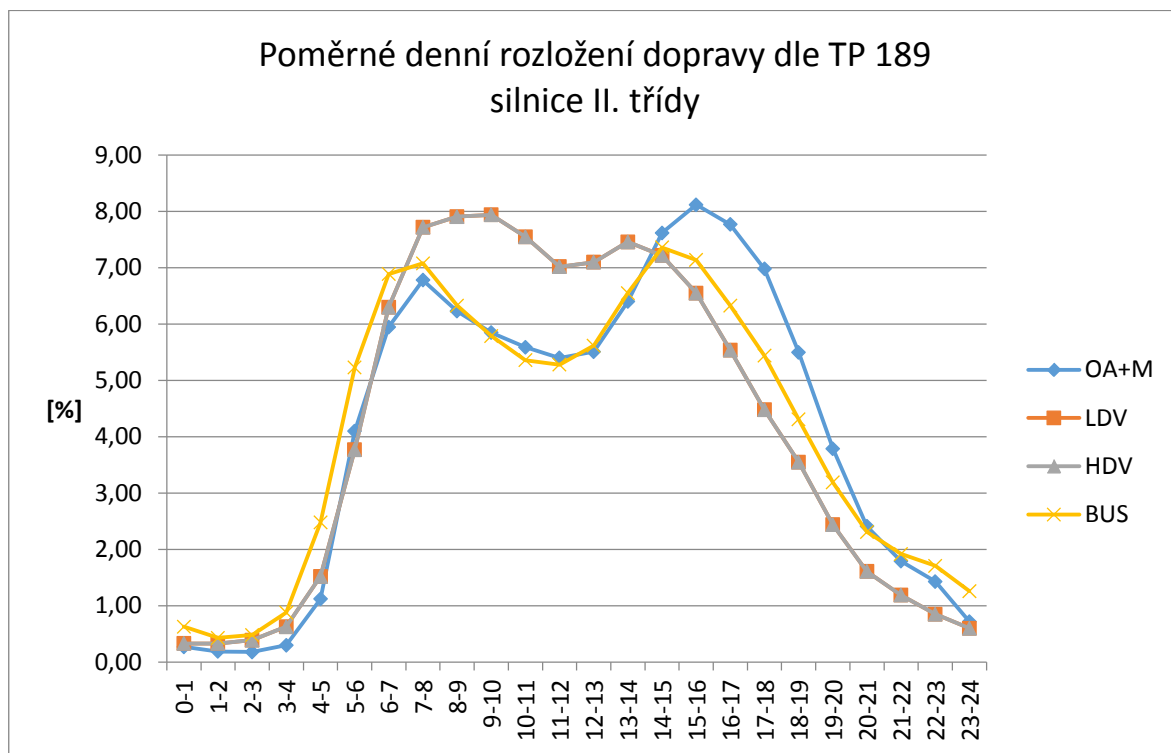
Kategorie vozidel uvedené v tabulce č. 9 rozlišuje i program MEFA 13, sloužící pro výpočet emisních faktorů. Pro stanovení emisí, respektive imisí je pak nezbytné násobit intenzity jednotlivých kategorií jejich emisními faktory. Z tohoto důvodu je žádoucí používat shodné rozdělení.



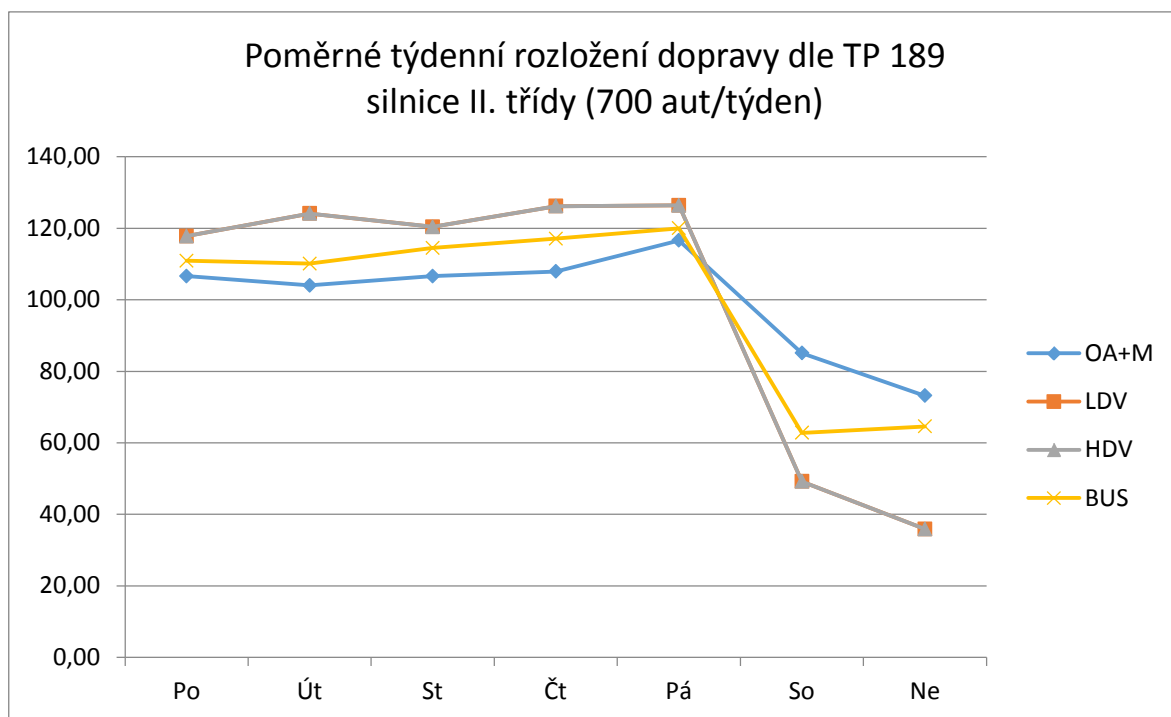
**Graf 5: Poměrné denní rozložení dopravy dle TP 189, silnice I. třídy
(Bartoš, 2012)**



*Graf 6: Poměrné týdenní rozložení dopravy dle TP 189, silnice I. třídy
(Bartoš, 2012)*



*Graf 7: Poměrné denní rozložení dopravy dle TP 189, silnice II. třídy
(Bartoš, 2012)*



**Graf 8: Poměrné týdenní rozložení dopravy dle TP 189, silnice II. třídy
(Bartoš, 2012)**

Následující kalendář ukazuje, ve kterých dnech bylo provedeno sčítání vozidel. Sčítání probíhalo v dané dny pouze jednu nebo maximálně dvě hodiny. Samotným sčítáním byl tedy pokryt jen zlomek sledované doby. Navíc sčítání na jednotlivých úsecích silnic se časově rozcházelo. Proto bylo podle TP 189, příloha 2.1 (Bartoš, 2012) provedeno přepočítání těchto několika málo měření na celé měsíce říjen a listopad tak, že se předpokládalo shodné poměrné rozložení dopravy v průběhu dne a v průběhu týdne jako na standardizovaných silnicích I. a II. třídy se zohledněním ročního období (podzimní). Hodnoty terénního měření byly proto využity, zejména pro nastavení absolutních hodnot intenzit dopravy. Pro jednotlivé měsíce se provedly výpočty poměrů mezi skutečným měřením a odpovídající hodnotou na odpovídajících komunikacích. Tyto poměry z jednotlivých měřících bodů se zprůměrovaly a výsledným poměrem se vynásobily intenzity dopravy z uvedených hodnot v TP 189. Takto byly získány hodnoty intenzit dopravy na všech třech komunikacích v průběhu měsíců říjen a listopad 2014 za každou hodinu. Tyto hodnoty jsou použity dále jako vstupy pro automatizovaný výpočet v programu CALINE 4. Z těchto intenzit se rovněž počítá hodnota imisního faktoru resuspendovaných částic. Při výpočtu bylo třeba vzít v úvahu, že zatímco součet denních

intenzit dopravy činí 100, tak součet týdenních intenzit dopravy je 700. Vypočtené hodnoty jsou zaneseny do tabulky v příloze č. 9.

Tabulka 10: Kalendář manuálního odečtu počtu vozidel na sledovaných komunikacích (Linhartová, 2015)

PO	ÚT	ST	ČT	PÁ	SO	NE
29. 9. 2014	30. 9. 2014	1. 10. 2014	2. 10. 2014	3. 10. 2014	4. 10. 2014	5. 10. 2014
6. 10. 2014	7. 10. 2014	8. 10. 2014	9. 10. 2014 R	10. 10. 2014	11. 10. 2014	12. 10. 2014
13. 10. 014 R	14. 10. 2014	15. 10. 2014 R	16. 10. 2014 F, T	17. 10. 2014 T	18. 10. 2014	19. 10. 2014
20. 10. 2014	21. 10. 2014	22. 10. 2014	23. 10. 2014	24. 10. 2014	25. 10. 2014	26. 10. 2014
27. 10. 2014	28. 10. 2014	29. 10. 2014 F, T	30. 10. 2014	31. 10. 2014 T	1. 11. 2014	2. 11. 2014
3. 11. 2014	4. 11. 2014	5. 11. 2014	6. 11. 2014	7. 11. 2014	8. 11. 2014	9. 11. 2014
10. 11. 2014	11. 11. 2014 F, T	12. 11. 2014	13. 11. 2014	14. 11. 2014 T	15. 11. 2014	16. 11. 2014
17. 11. 2014	18. 11. 2014 R, F, T	19. 11. 2014 F, T	20. 11. 2014	21. 11. 2014 R	22. 11. 2014	23. 11. 2014
24. 11. 2014	25. 11. 2014	26. 11. 2014	27. 11. 2014	28. 11. 014	29. 11. 2014	30. 11. 2014

5.1.4.2 Emisní faktory vybraných polutantů

„**Emisní faktor** popisuje množství polutantu uvolňovaného do atmosféry ze zdroje činnosti“ (Braniš, 2009, s. 182).

Emisní faktory byly stanoveny pro sledované polutanty CO, NO₂, PM₁₀.

Emisní faktory se liší podle jednotlivých typů vozidel, dle jejich pohonné jednotky a použitého paliva, dle doby, kdy byla vozidla uvedena do provozu. Předpokládá se, že v dané době musely splňovat určité emisní limity. Dále tyto emisní faktory závisí pochopitelně také na způsobu provozu vozidla, v praktickém provozu - na plynulosti dopravy, rychlostí, jakou se vozidla průměrně pohybují a na průměrném sklonu vozovky. Rychlost vozidla ovlivňuje velikost pasivních odporů, např. vzduchu, sklon vozovky ovlivňuje množství energie, kterou je třeba dodat na překonání výškových rozdílů a plynulost dopravy ovlivňuje efektivitu provozu, tedy jak mnoho energie se maří brzděním

a urychlováním vozidel. To vše se nakonec promítne do velikosti emisí produkovaných v reálném provozu. Tyto faktory je nutno zohlednit také při modelování situace výpočtem. Pro stanovení emisních faktorů byl v této práci použit program MEFA 13, v omezené verzi volně stažitelný na stránkách společnosti ATEM – Ateliér ekologických modelů, s.r.o., která zpracovává studie pro Ministerstvo dopravy ČR. Vstupními údaji do programu byly:

- podélný sklon vozovky,
- plynulost dopravy,
- rychlost v daném úseku,
- palivo,
- typ vozidla a jeho emisní norma.

MEFA - emisní faktory pro motorová vozidla

Program Editovat nápověda

Výpočtový rok: 2014
Kategorie vozidla: Lehké nákladní

Charakteristika vozidla
Palivo: Benzin
Emisní úroveň: Euro 2
Vytížení HDV (%): 50

Charakteristika podmínek provozu
Plynulost provozu: 5
Podélný sklon vozovky (%): 5
Rychlost jízdy (km/h): 50
Max. rychlost vozidla je 130 km/h.

Emitovaná škodlivina	Emisní faktor
NO _x (g/km)	4.4534
CO (g/km)	224.4200
SO ₂ (g/km)	0.0044
PM (g/km)	2.1634
PM ₁₀ (g/km)	2.1118
PM _{2,5} (g/km)	1.9920
NO ₂ (g/km)	0.2227
C _x H _y (g/km)	4.4511
PAH (g/km)	0.0042
methan (g/km)	1.2678
propan (g/km)	0.0166
1,3-butadien (g/km)	0.0078
benzen (g/km)	0.1990
toluen (g/km)	0.5578
styren (g/km)	0.0389
formaldehyd (g/km)	0.0289
acetaldehyd (g/km)	0.0172
benzoapyren (μg/km)	19.6552

<< Zpět Výpočet faktoru

Obrázek 18: Výpočet emisního faktoru v MEFA 13
(ATEM – Ateliér ekologických modelů, s. r. o., 2013)

V reálném provozu se vyskytuje směs vozidel využívajících různé druhy spalovacích motorů (benzínové, dieselové, na stlačený zemní plyn – CNG a zkapalněný ropný plyn - LPG) a rovněž automobily různého stáří tedy splňující různé emisní normy platící v době jejich uvedení do provozu. Při úvaze vhodného mixu vozidel bylo vycházeno z dat studie Ministerstva dopravy ČR – rozdělení vozidel v provozu dle paliva a emisní normy z daného období (ATEM – Ateliér ekologických modelů, s.r.o., 2016). Studie je zpracovaná s rozlišením výskytu vozidel v regionech České republiky. Byla použita data pro region Ostrava. Tabulky jsou opět zpracovány pro stejné kategorie vozidel jako v programu MEFA 13.

Plynulost dopravy – veličina zohledňující vliv jízdního režimu. Zadává se v hodnotách 1 – 10. Plynulému provozu na silnicích v extravilánu odpovídá hodnota 1, pro plynulý provoz ve městě, kdy vozidla občas zastavují na křižovatkách je zadávána hodnota 2 – 3. Naopak při popojíždějící koloně vozidel je třeba použít hodnotu plynulosti 8 – 9, ve výjimečných případech až 10 (ATEM - Ateliér ekologických modelů, s.r.o., 2016). Dle této metodiky byly zvoleny hodnoty 1 - Rudná, 2 - Fryštátská, 5 – Těšínská.

Rychlost – vychází z povolené maximální rychlosti v sledovaných komunikacích: Rudná 90 km.h⁻¹, Fryštátská 50 km.h⁻¹, Těšínská 50 km.h⁻¹.

Podélný sklon – byl určen jednoduchým výpočtem z dvou vybraných bodů na úseku silnice:

$$sklon = \frac{\Delta h}{\Delta l} \cdot 100 \%$$

kde: Δh ... výškový rozdíl sledovaných bodů na silnici [m],

Δl ... vodorovná vzdálenost sledovaných bodů na silnici [m].

Po dosazení a zaokrouhlení byly vypočteny sklony vozovek: Rudná 0%, Fryštátská 0%, Těšínská 5%.

Výsledný emisní faktor byl určen jako vážený průměr imisních faktorů pro jednotlivé kategorie s ohledem na jejich poměrné zastoupení v celkovém mixu vozidel. Přepočet byl proveden ve dvou etapách podle paliva a podle emisní normy. Výsledkem je stanovení jednotlivých emisních faktorů pro jednotlivé typy vozidel. Bylo potřeba toto

provést samostatně pro každý z uvažovaných polutantů, tj. CO, NO₂, PM₁₀. Jelikož se jednotlivé silnice lišily v průměrné rychlosti, plynulosti dopravy a sklonu vozovky, vychází tyto výpočtem stanovené emisní faktory, rozdílné pro každou z uvažovaných komunikací.

Tabulka 11: Lokalita Ostrava – podíl jednotlivých typů vozidel dle emisních předpisů (ATEM – Ateliér ekologických modelů, s. r. o., 2016)

Lokalita Ostrava - podíl jednotlivých typů vozidel podle emisních předpisů [%]								
	Konv.	EURO 1	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5	EURO 6	Celkem
OA	0.8	10.2	18.2	29.5	31.1	4.7	5.5	100
LDH	0.2	3.1	4.8	21.5	48.8	20.3	1.3	100
HDV	8.2	2.9	8.9	28.7	19.7	24.3	7.3	100
BUS	0.0	0.4	4.2	25.3	8.6	35.9	25.5	100

Tabulka 12: Lokalita Ostrava – podíl jednotlivých typů vozidel dle typu paliva (ATEM – Ateliér ekologických modelů, s. r. o., 2016)

Lokalita Ostrava - podíl jednotlivých typů automobilů dle typu paliva [%]								
	Benzín	Benzín + CNG	Benzín + LPG	CNG	Elektřina	Nafta	Ostatní	Celkem
OA	52.73	0.33	2.77	0.22	0.02	43.76	0.16	100
LDV	15.35	0.67	1.70	0.40	0.00	81.84	0.04	100
HDV	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	99.71	0.29	100
BUS	0.00	0.00	0.00	25.53	0.00	74.47	0.00	100

K přepočtu emisních faktorů za výslednou směs vozidel byly využity vzorce pro výpočet váženého průměru následovně:

$$E_P = \frac{\sum(E_{ENi} * MI_{ENi})}{\sum MI_{ENi}}$$

kde: E_P ... emisní faktor pro dané palivo [g.km⁻¹],

MI_{EN} ... podíl jednotlivých typů (měrná intenzita) dle emisní normy [-],

E_{EN} ... emisní faktor pro danou emisní normu [g.km⁻¹].

$$E_V = \frac{\sum(E_{Pi} * MI_{Pi})}{\sum MI_{Pi}}$$

kde: E_V ... emisní faktor pro daný typ vozidel (OA, LDV, HDV, BUS) [g.km^{-1}],
 MI_P ... podíl jednotlivých typů (měrná intenzita) dle paliva [-],
 E_P ... emisní faktor pro dané palivo [g.km^{-1}].

Dále bylo potřeba převést vypočítané emisní faktory pro CALINE 4 na jím
akceptované jednotky. CALINE 4 požaduje zadání emisních limitů v jednotkách g.míle^{-1} .
Proto byl použit jednoduchý přepoččet:

$$E_{mi} = E_{km} * 1,609 \text{ km.míle}^{-1}$$

kde: E_{mi} ... emisní faktor [g.míle^{-1}],
 E_{km} ... emisní faktor [g.km^{-1}].

Je třeba podotknout, že všechny statistické přepočty probíhají s jistou chybou,
jelikož předpokládají rovnoměrné rozložení vozidel s různými emisními normami napříč
kategoriemi vozidel dle paliva.

5.1.4.3 Resuspendované částice

Ve znečištění ovzduší hrají nezanedbatelnou roli prachové částice reemitované
ze zemského povrchu vlivem proudění. Označují se také jako sekundární prašnost nebo
resuspendované částice) (Macoun, 2010).

K výpočtu množství resuspendovaných částic v ovzduší dle metodického pokynu
odboru ochrany ovzduší ke zpracování rozptylových studií (Ministerstvo životního
prostředí, 2013) slouží empirický vzorec:

$$E = [k(sL)^{0,91} * (W * 1,1)^{1,02}](1 - P/4N)$$

kde: E ... emisní faktor (g.km^{-1} ujetý vozidlem),
 k ... násobitel závislý na velikosti řešené frakce [g.km^{-1} ujetý vozidlem],
 sL ... zátěž povrchu silnice prachovými částicemi [g.m^{-2}],
 W ... průměrná hmotnost vozidla [t],
 P ... počet dnů s úrovní srážek $\geq 1\text{mm}$ z celkového počtu dnů N , pokud je
hodnocena průměrná roční emise, pak je $N = 365$.

*Tabulka 13: Hodnoty násobitele „k“
(Ministerstvo životního prostředí, 2013)*

Typ polutantu	Hodnoty násobitele „k“ [g.km ⁻¹]
$PM_{2,5}$	0,15
PM_{10}	0,62
PM_{15}	0,77
PM_{30}	3,23

Pro stanovení emisního faktoru (vyčíslení emisí celkových prachových částic) by byla využita hodnota pro PM_{30} (Ministerstvo životního prostředí, 2013).

V této diplomové práci jsou srovnávány hodnoty polétavého prachu z imisního monitoringu stanice TOREK Ostrava s měřením částic PM_{10} , proto je použita hodnota násobitele „k“ pro tuto frakci.

Hodnota zátěže povrchu silnice prachovými částicemi (sL) – byla vypočítána dle metodiky odboru ochrany ovzduší MŽP (Ministerstvo životního prostředí, 2013). Byl použit vztah pro komunikace bez omezení přístupu.

$$sL = a + b * \exp(-c * ADT) + d * \exp(-e * ADT)$$

kde: sL ... množství prachových částic o velikosti menší než 75 μm usazených na povrchu vozovky (g/m²).

Konstanty:

a ... $2,98836366438775 * 10^{-2}$,

b ... 0,291164802583441,

c ... $9,43038520274373 * 10^{-4}$,

d ... 0,369564444341721,

e ... $3,32212994363627 * 10^{-4}$,

ADT průměrný denní počet vozidel na komunikaci (average daily traffic).

Průměrná hmotnost vozidla (W)¹ – počítáno jako vážený průměr.

$$W = \frac{n_{OA} * m_{\emptyset OA} + n_{LDV} * m_{\emptyset LDV} + n_{HDV} * m_{\emptyset HDV} + n_{Bus} * m_{\emptyset Bus}}{n_{OA} + n_{LDV} + n_{HDV} + n_{Bus}}$$

¹ Vážený průměr W je často počítán s ohledem na intenzitu dopravy v dané kategorii. Ze statistického hlediska se jedná o aritmetický průměr počítaný v souboru s různými četnostmi.

kde: $m_0 \dots$ průměrná hmotnost pro danou kategorii vozidel,
 $n \dots$ počet vozidel pro danou kategorii vozidel.

Dle metodického pokynu pro výpočet resuspendovaných částic se pracuje s průměrem za všechna vozidla a není správné počítat zvlášť emise pro každou kategorii vozidel (Ministerstvo životního prostředí, 2013).

Hodnoty N a P

Celkový počet dnů ve sledovaných měsících je 61 (N). Počet dnů s úrovní srážek ≥ 1 mm (P) byl určen z historických dat, viz tabulka č. 14.

*Tabulka 14: Určení hodnot N a P
(In - počasí, 2015)*

	Počet dnů s úrovní srážek ≥ 1 mm
říjen 2014	7
listopad 2014	5
celkem (P)	12
celkem dnů (N)	61

V následujících tabulkách č. 15 a 16 jsou uvedeny výsledné hodnoty z výpočtu emisního faktoru resuspendovaných částic.

Tabulka 15: Výsledné hodnoty – intenzity dopravy

	Průměrná hmotnost vozidla (t)	Množství vozidel		
		Rudná	Fryštátská	Těšínská
OA	1.6	1167438	508715	352616
LDV	4	88067	38638	30235
HDV	20	88617	38318	9505
BUS	20	7435	7116	15556

Tabulka 16: Výsledné hodnoty - výpočet emisního faktoru resuspendovaných částic

	Rudná	Fryštátská	Těšínská
Průměrná hmotnost vozidla -W [t]	3.064	3.167	2.908
Celkový počet vozidel [-]	1344122	585671	392355
Průměrný denní počet vozidel na komunikaci - ADT [-]	22035	9601	6432

	Rudná	Fryštátská	Těšínská
Zátěž povrchu silnice prachovými částicemi - sL [g.m ⁻²]	0.0301	0.0451	0.0742
Emisní faktor resusp. č. - E [g.km ⁻¹]	0.0841	0.1256	0.1810
Emisní faktor resusp. č. - E [g.mile ⁻¹]	0.1353	0.2021	0.2912

V tabulkách přílohy č. 4 jsou zpracovány výstupy emisních faktorů z programu MEFA 13 pro jednotlivé normy EURO a druh paliva na určených komunikacích. Vypočtené emisní faktory jsou zobrazeny v následujících tabulkách č. 17, 18, 19.

Tabulka 17: Emisní faktory -silnice I/11 Rudná

Rudná	emisní faktor [g.km ⁻¹]			emisní faktor [g.mile ⁻¹]		
	CO	PM ₁₀	NO ₂	CO	PM ₁₀	NO ₂
OA	0.2564	0.0303	0.0535	0.4125	0.0487	0.0860
LDV	0.6502	0.0420	0.0682	1.0462	0.0676	0.1098
HDV	1.8103	0.1779	0.1622	2.9128	0.2863	0.2609
BUS	6.8222	0.1868	0.2333	10.9769	0.3005	0.3755
Resuspendované částice		0.0841			0.1353	

Tabulka 18: Emisní faktory silnice I/59 Fryštátská

Fryštátská	emisní faktor [g.km ⁻¹]			emisní faktor [g.mile ⁻¹]		
	CO	PM ₁₀	NO ₂	CO	PM ₁₀	NO ₂
OA	0.4550	0.0461	0.0535	0.7322	0.0741	0.0861
LDV	2.3113	0.0645	0.0703	3.7189	0.1037	0.1131
HDV	2.5369	0.2601	0.1874	4.0818	0.4185	0.3015
BUS	2.2490	0.1336	0.2297	3.6187	0.2150	0.3695
Resuspendované částice		0.1256			0.2021	

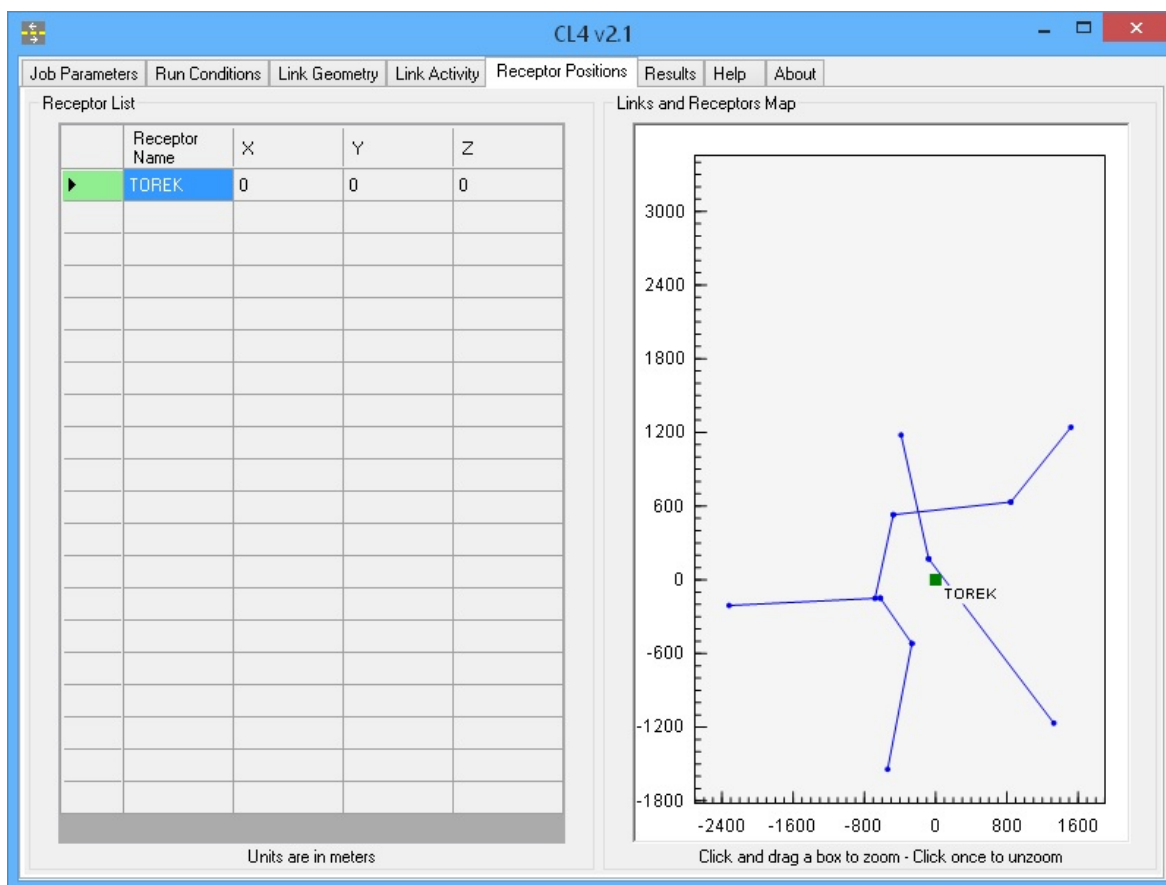
Tabulka 19: Emisní faktory silnice II/479 Těšínská

Těšínská	emisní faktor [g.km ⁻¹]			emisní faktor [g.mile ⁻¹]		
	CO	PM ₁₀	NO ₂	CO	PM ₁₀	NO ₂
OA	2.1370	0.1114	0.1366	3.4384	0.1792	0.2197
LDV	34.4497	0.2918	0.2664	55.4296	0.4696	0.4286
HDV	7.1953	0.6925	0.6918	11.5772	1.1143	1.1131

Těšínská	emisní faktor [g.km ⁻¹]			emisní faktor [g.mile ⁻¹]		
	CO	PM ₁₀	NO ₂	CO	PM ₁₀	NO ₂
BUS	5.9494	0.2647	0.6039	9.5726	0.4258	0.9717
Resuspendované částice		0.1810			0.2912	

5.1.5 Pozice receptorů (Receptor Positions)

Program CALINE 4 umožňuje v základní verzi uvést celkem 20 pozic receptorů, tj. míst, ve kterých jsou počítány škodliviny. V řešeném úkolu jsou zadány souřadnice pouze pro jeden monitorovaný bod, a to bod souhlasný s pozicí měřicí stanice TOREK Ostrava. Relativní souřadnice na mapě používané i pro zadání geometrie vozovek, viz kap. 5.1.3, byly zvoleny se středem souřadného systému v monitorovaném bodě (0,0).



Obrázek 19: Souřadnice receptoru
(Caltrans, 2017)

Na zobrazené mapě v programu je možné vizuálně zkontrolovat správnost zadání souřadnic komunikací a měřicí stanice (receptoru).

5.1.6 Výsledky (Results)

Po zadání všech vstupních hodnot a stisknutí tlačítka pro spuštění výpočtu (Run CALINE 4) proběhne výpočet a program se automaticky přepne na záložku se zobrazením výpočtu, kde je načten výstupní soubor výpočtového modulu v textovém formátu. Tento soubor je možné uložit a zobrazit v jakémkoliv běžném prohlížeči, např. Notepad.

Při ručním výpočtu by bylo nutné data přepisovat do tabulek. Výpočet se provádí zvlášť pro každý ze sledovaných polutantů. Vzhledem k několika kategoriím vozidel s rozdílným emisním faktorem a rozdílnou intenzitou provozu se nabízí dvě možnosti, jak získat celkové imise:

- spočítat imise zvlášť pro každou kategorii vozidel (OA, LDV, HDV, BUS),
- pomocí váženého průměru spočítat průměrný emisní faktor a výpočet provést pro celkový počet vozidel s tímto průměrným imisním faktorem.

II. LINK VARIABLES										
LINK	* LINK	COORDINATES (M)	* TYPE	VPH	EF (G/MI)	H (M)	W (M)			
DESCRIPTION	* X1	Y1	X2	Y2	* TYPE	VPH	EF (G/MI)	H (M)	W (M)	
A. Rudna	* -2319	-209	-621	-149	* AG	2000	0.0	0.0	24.0	
B. Rudna	* -621	-149	-266	-519	* AG	2000	0.0	0.0	24.0	
C. Rudna	* -266	-519	-539	-1543	* AG	2000	0.0	0.0	24.0	
D. Frystatska	* -681	-151	-475	530	* AG	500	0.1	0.0	18.0	
E. Frystatska	* -475	530	844	633	* AG	500	0.1	0.0	18.0	
F. Frystatska	* 844	633	1520	1242	* AG	500	0.1	0.0	18.0	
G. Tesinska	* -388	1179	-78	171	* AG	500	0.2	0.0	18.0	
H. Tesinska	* -78	171	1328	-1167	* AG	500	0.2	0.0	18.0	

III. RECEPTOR LOCATIONS				
RECEPTOR	* COORDINATES (M)			
	* X	Y	Z	
1. TOREK	* 0	0	0.0	

IV. MODEL RESULTS (PRED. CONC. INCLUDES AMB.)										
RECEPTOR	* PRED CONC (PPM)	* CONC/LINK (PPM)								
	* (PPM)	* A	B	C	D	E	F	G	H	
1. TOREK	* 7.7	* 5.2	0.1	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	

Obrázek 20: Výsledky výpočtu
(Caltrans, 2017)

Díky automatizaci výpočtu bylo možné srovnat výsledky z obou metod a získané hodnoty byly rozdílné. Jedním z důvodů rozdílu je, že v celkových imisích program CALINE 4 započítává příspěvky z jednotlivých komunikací, ke kterým pokaždé přičítá tzv. pozadřovou hodnotu koncentrace daného polutantu. Při čtyřech kategoriích vozidel je tedy tato hodnota přičtena čtyřikrát. Tuto skutečnost je nutné korigovat zadáním nulové pozadřové hodnoty do programu CALINE 4 a jejím přičtením pak až k součtu výstupů.

Dále bylo testováním CALINE 4 zjištěno, že zadáním dvojnásobných hodnot intenzit dopravy při zachování ostatních parametrů nedojde automaticky ke zdvojnásobení vypočtených koncentrací. Úloha tedy není lineární a neumožňuje tak bezchybnou superpozici výsledků.

Je třeba pamatovat, že obě z metod zanášejí do konečných výsledků určitou chybu, kterou bez znalosti algoritmu programu CALINE 4 není možné přesně vyčíslit.

5.2 Vypočtené hodnoty

Po zadání všech vstupů do programu CALINE 4 byly zpracovány výsledné imise sledovaných polutantů CO, NO₂, PM₁₀ v intervalu jedné hodiny v měsících říjnu a listopadu 2014. Vypočtené hodnoty byly zaneseny do časových grafů.

Výstupy z programu CALINE 4 pro CO a NO₂ bylo nutné převést z jednotek ppm na jednotky μg.m⁻³.

Převedení výstupu pro CO probíhá podle následujícího vztahu:

$$1 \text{ ppm} = \frac{M}{m} = \frac{(12 + 16)}{22,414} = 1,25 \text{ mg.m}^{-3}$$

kde: M ... molekulová hmotnost,

m ... molární objem při teplotě 20°C a tlaku 101,325 kPa.

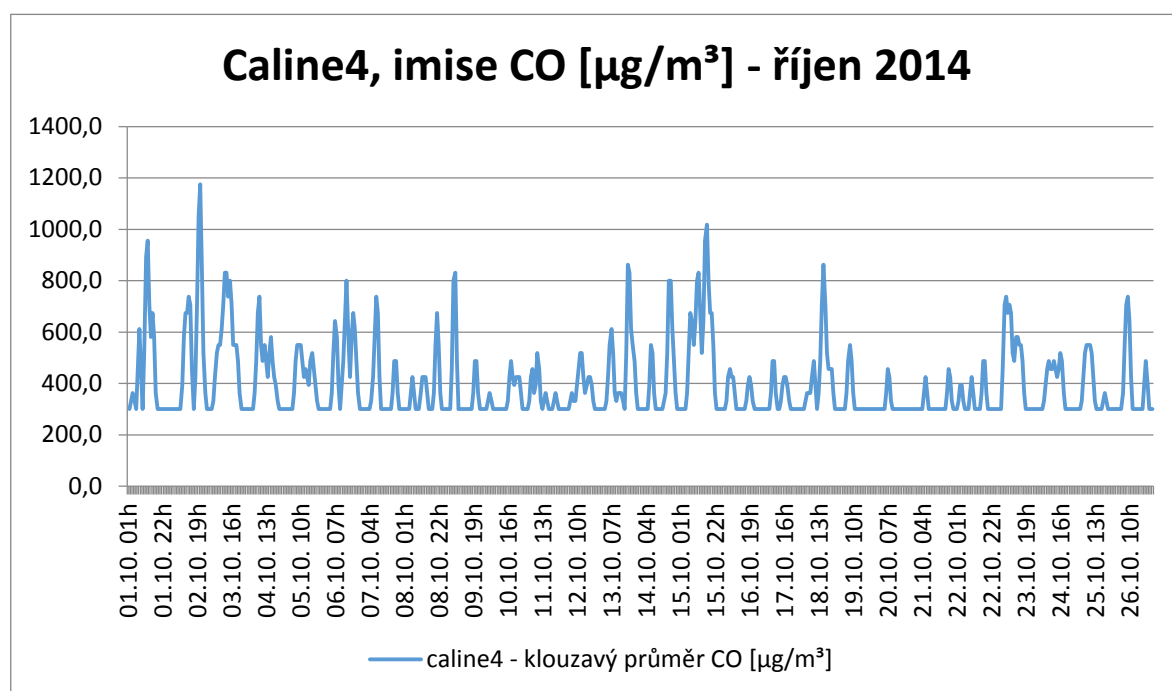
Převedení výstupu pro NO₂ probíhá podle obdobného vztahu s molárními hmotnostmi dusíku a kyslíku:

$$1 \text{ ppm} = \frac{M}{m} = \frac{(14 + 2 \cdot 16)}{22,414} = 2,05 \text{ mg.m}^{-3}$$

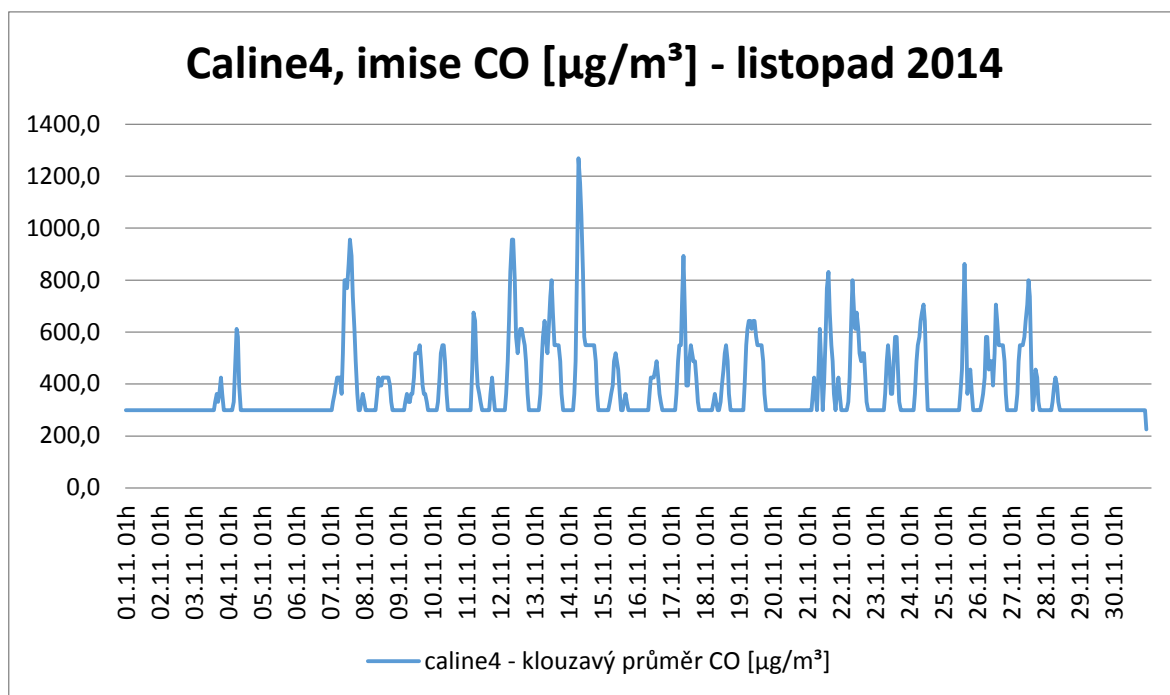
kde: M ... molekulová hmotnost,
 m ... molární objem při teplotě 20°C a tlaku 101,325 kPa.

Při výpočtech poměrů za jiných teplotních nebo tlakových podmínek by musel být vztah rozšířen o korekci na jinou termodynamickou teplotu a jiný tlak. Vzhledem k přepočtu na termodynamickou teplotu, můžeme malé odchylky teploty vzduchu zanedbat vůči celkové přesnosti výpočtu.

5.2.1 Imise oxidu uhelnatého (CO)

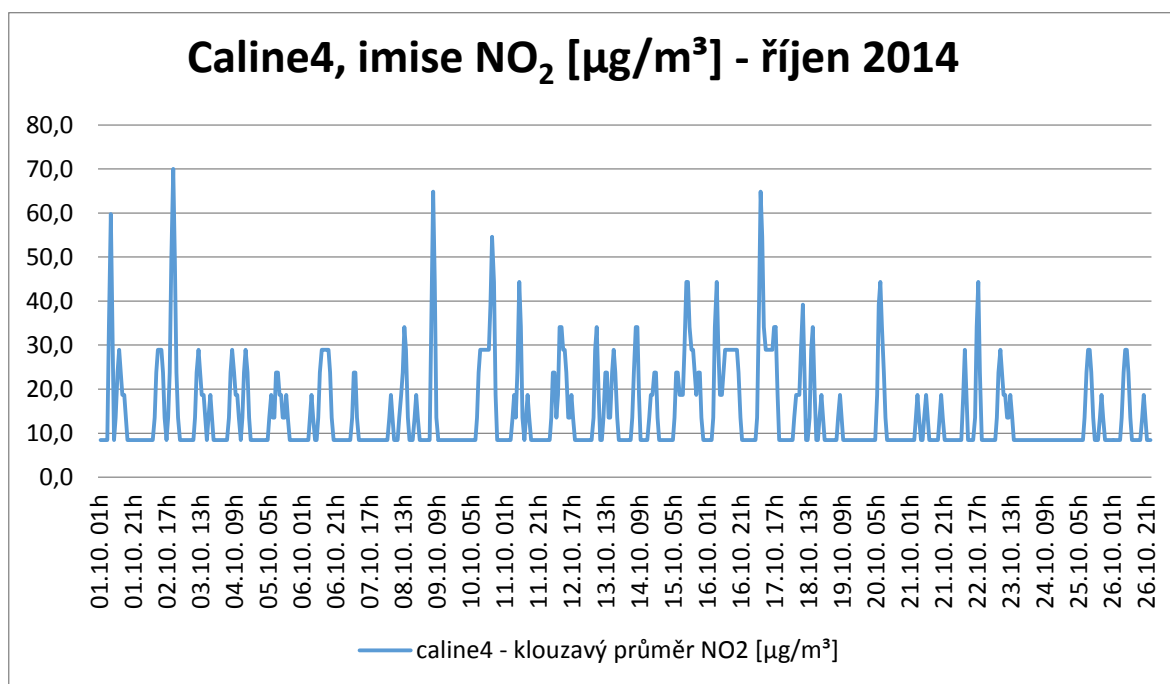


Graf 9: Caline4, imise CO - říjen 2014

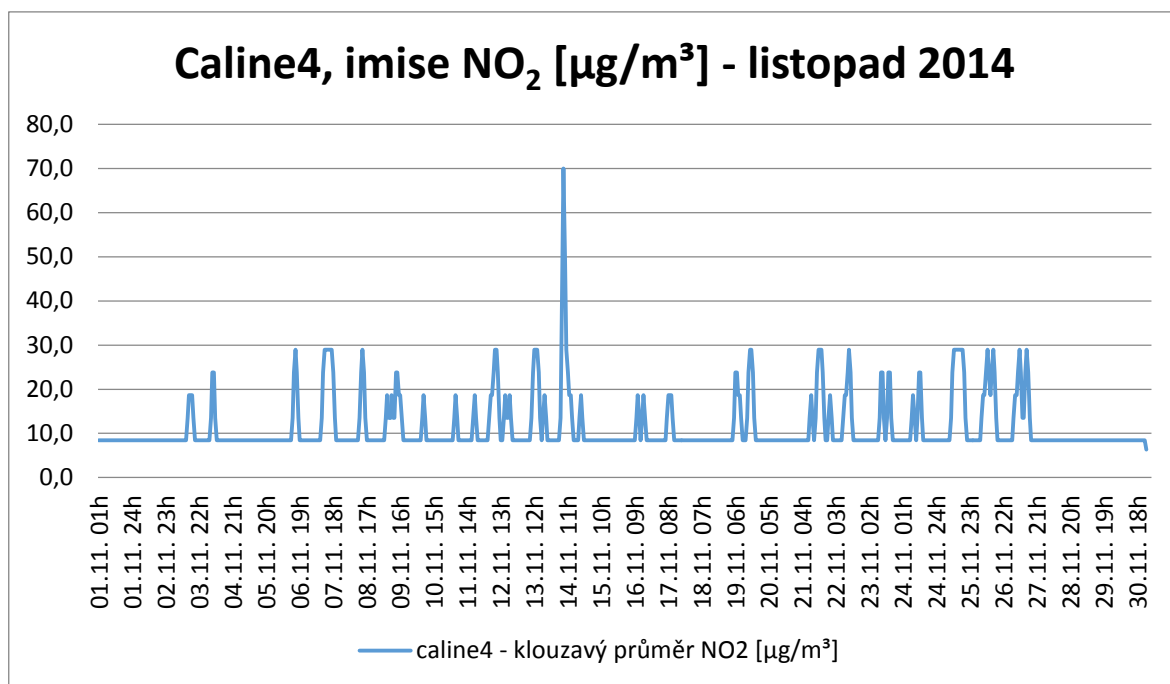


Graf 10: Caline4, imise CO - listopad 2014

5.2.2 Imise oxidu dusičitého (NO_2)



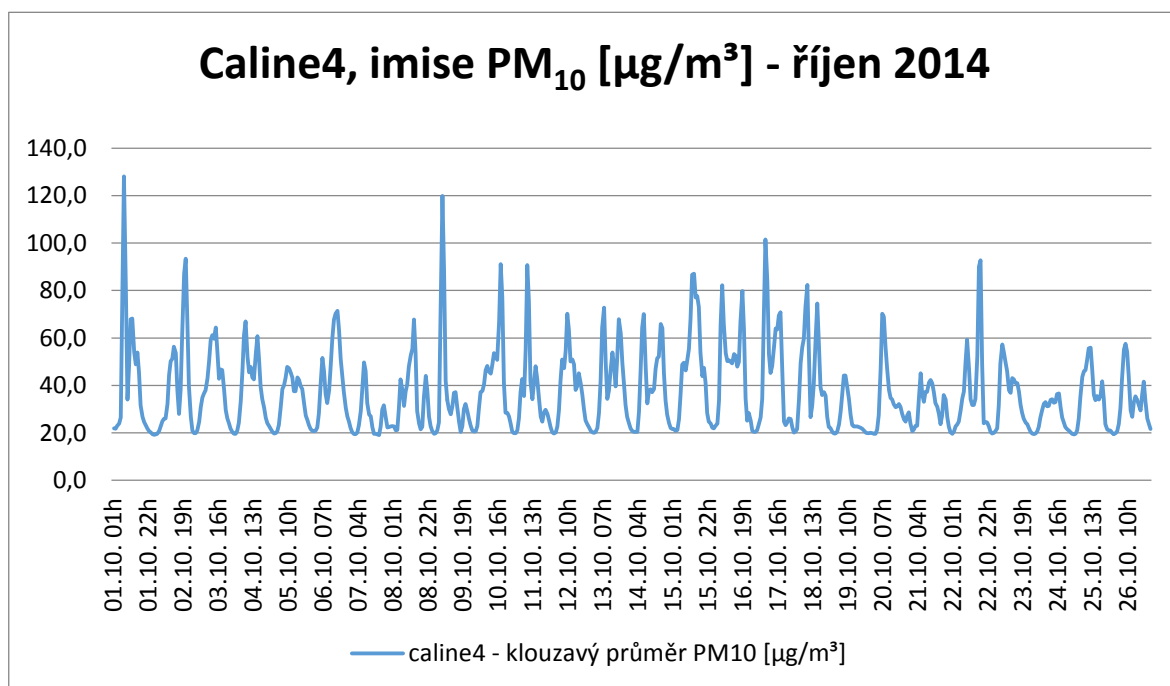
Graf 11: Caline4, imise NO_2 - říjen 2014



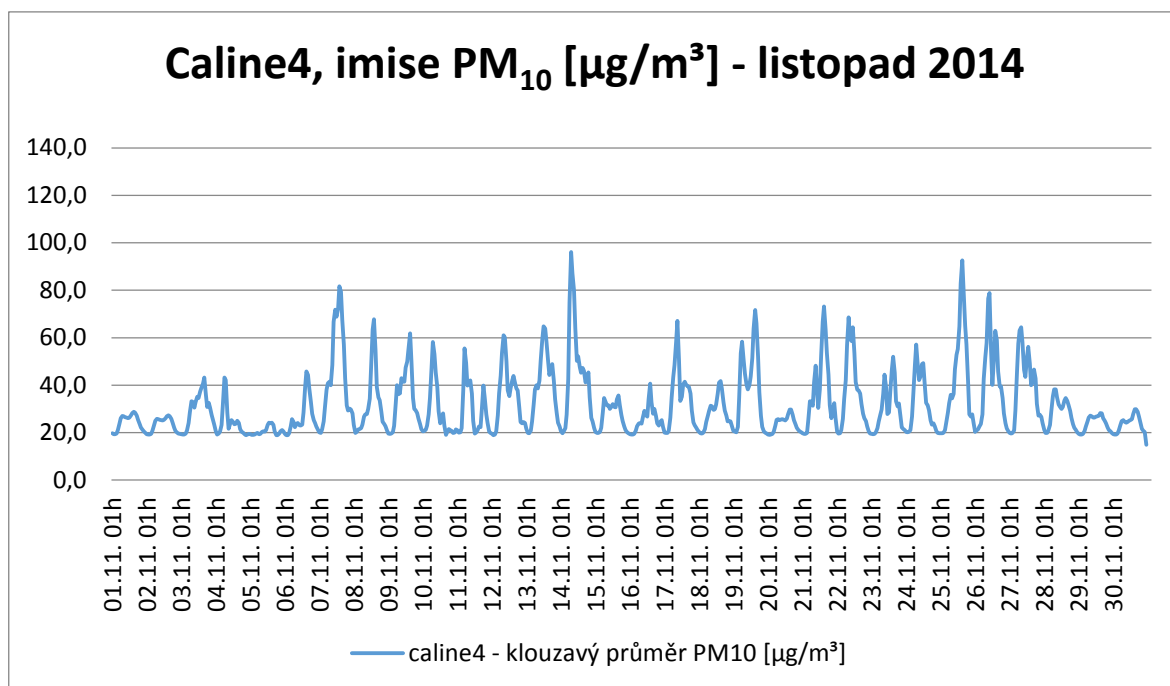
Graf 12: Caline4, imise NO₂ - listopad 2014

5.2.3 Imise prachových částic (PM₁₀)

U prachových částic vrací program výsledky přímo v jednotkách µg.m⁻³ a není třeba provádět žádný přepočet. Na tuto skutečnost je upozorněno v záhlaví výsledkové listiny programu CALINE 4.



Graf 13: Caline4, imise PM₁₀ - říjen 2014



Graf 14: Caline4, imise PM₁₀ - listopad 2014

Z výsledných grafů je patrná závislost na množství projíždějících vozidel, což se nejzřetelněji projevuje v pravidelné periodě nárůstu a poklesu imisí v intervalu jednoho každého dne. Obalová křivka špičkových hodnot pak bude respektovat vliv proměnlivého počasí, zejména rychlosti a směru větru během sledovaného období. U poléťavého prachu PM₁₀ je výrazná závislost na velikosti standardní odchylky směru větru, neboť poléťavé částice se mnohem méně rozptylují v atmosféře než plynné formy znečištění.

Tabulky s vypočtenými hodnotami jsou ve formátu MS Excel v příloze č. 8 na přiloženém CD.

6 SROVNÁNÍ VÝPOČTENÝCH DAT S DATY Z AUTOMATIZOVANÉHO IMISNÍHO MONITORINGU

V této kapitole jsou porovnávána data získaná výpočtem pomocí programu CALINE 4 s daty naměřenými v imisní monitorovací stanici TOREK² Ostrava-Bartovice. Data z monitoringu imisní stanice byla částečně využita jako vstupy pro výpočet, a to údaje o počasí (teploty, směry a intenzity větru). S ohledem na množství zpracovaných dat jsou srovnání provedena graficky zanesením průběhu vypočteného a naměřeného znečištění vždy do jednoho grafu pro každou znečišťující látku zvlášť. Vypočtená data byla mírně vyhlazena funkcí plovoucího průměru, aby se odstranily velké skokové výchyly sousedních hodnot, jelikož výpočet zpracovává každý jednotlivý údaj zvlášť bez jakékoliv paměti předchozího stavu. Prakticky je to provedeno tak, že údaje reprezentovány vždy jako součet jedné poloviny vypočtené hodnoty v daný okamžik a jedné čtvrtiny vypočtené hodnoty v přechodí a následující hodině. Vyhlazení křivky tak ve skutečnosti nahrazuje kapacitu nebo paměť soustavy měřeného ekosystému. S klouzavým průměrem pracují i naměřená data v monitorovací stanici TOREK Ostrava.

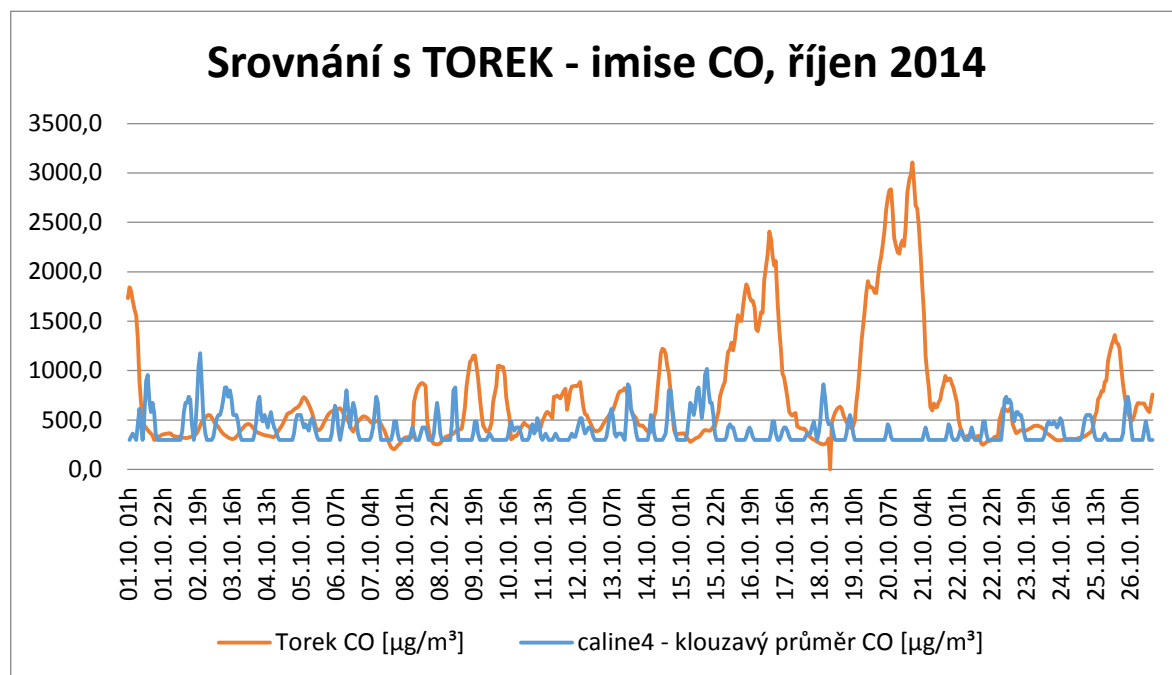
6.1 Stanice TOREK 1650 Ostrava-Bartovice

Stanice TOREK 1650 se nachází v lokalitě Ostrava-Radvanice, Nad Obcí 2859/1. Je umístěna mezi rodinnými domy (předměstská, průmyslová, obytná zóna) ve vlečce emisí průmyslové zóny ARCELOR Mittal, a. s., do 50 m komunikace Těšínská a do 1 km komunikace. R I-11 Rudná (Český hydrometeorologický ústav, 2017).

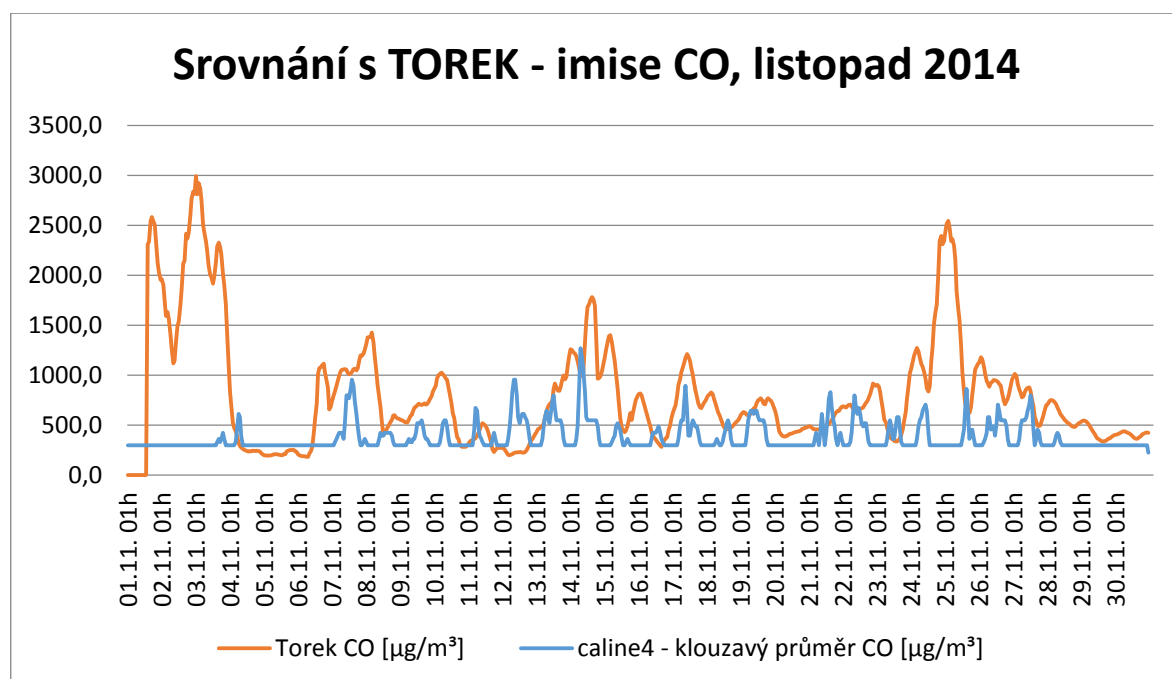
Zeměpisné souřadnice: 49° 48' 25.403" sš 18° 20' 20.897" vd, nadmořská výška 250 m. Stanice je v provozu od 1. 1. 2003 a od 1. 1. 2005 provoz hrazen Statutárním městem Ostrava. Typ měřicího programu – kombinované měření. (SO₂, NO, NO₂, NO_x, PM_{2,5}, PM₁₀, O₃, H₂S, rychlost větru, směr větru, relativní vlhkost, teplota 2 m nad terénem) (Státní zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, 2012).

² Obecné označení stanice je TORE. Označení TOREK je označení programu K = kombinovaného měření zahrnující polutanty sledované v této práci společně s meteorologickými údaji. Stanice dále nabízí programy TORE0, TOREP, TOREV, TORET.

6.2 Srovnání naměřených a vypočtených imisí CO



Graf 15: Srovnání s TOREK - imise CO, říjen 2014



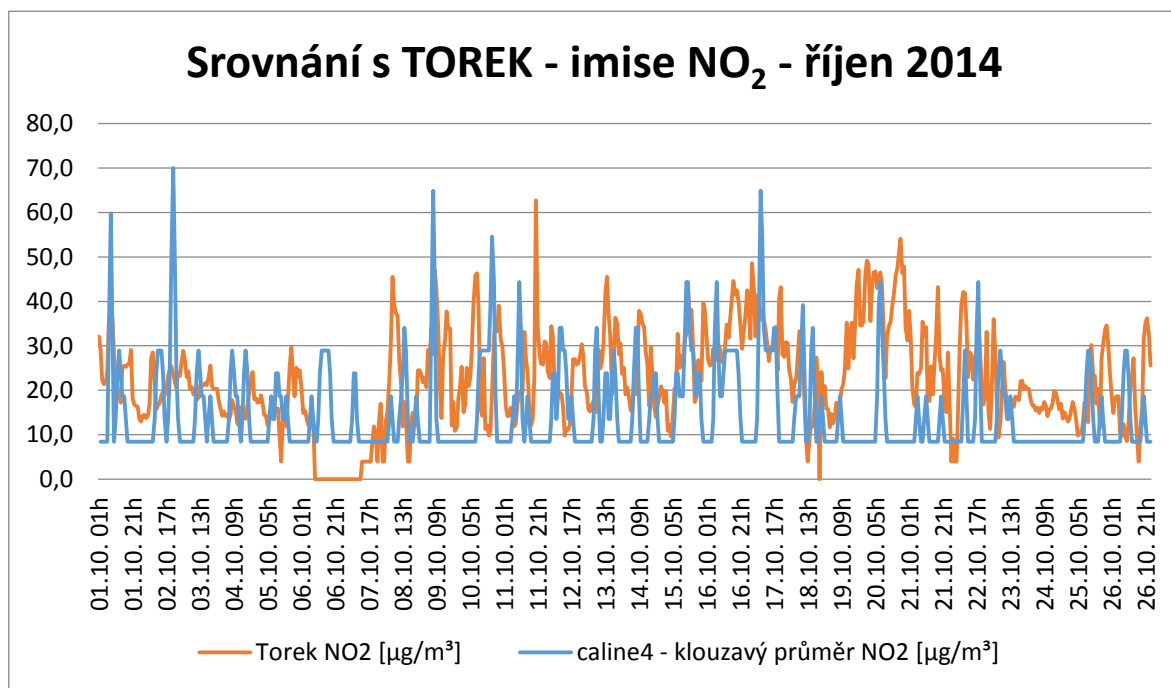
Graf 16: Srovnání s TOREK - imise CO, listopad 2014

V měsíci říjnu hodnoty vypočtených imisí řádově souhlasí s hodnotami zaznamenanými imisním monitoringem až na silné zvýšení imisí v době mezi 15. a

17. říjnem a mezi 19. a 22. říjnem, kdy převažovalo západní proudění větru, ze směru od silnice Rudná. Program CALINE 4 nereaguje na vzdálenější Rudnou v případě výpočtu imisí CO ani zdaleka tak dobře jako na imise PM_{10} .

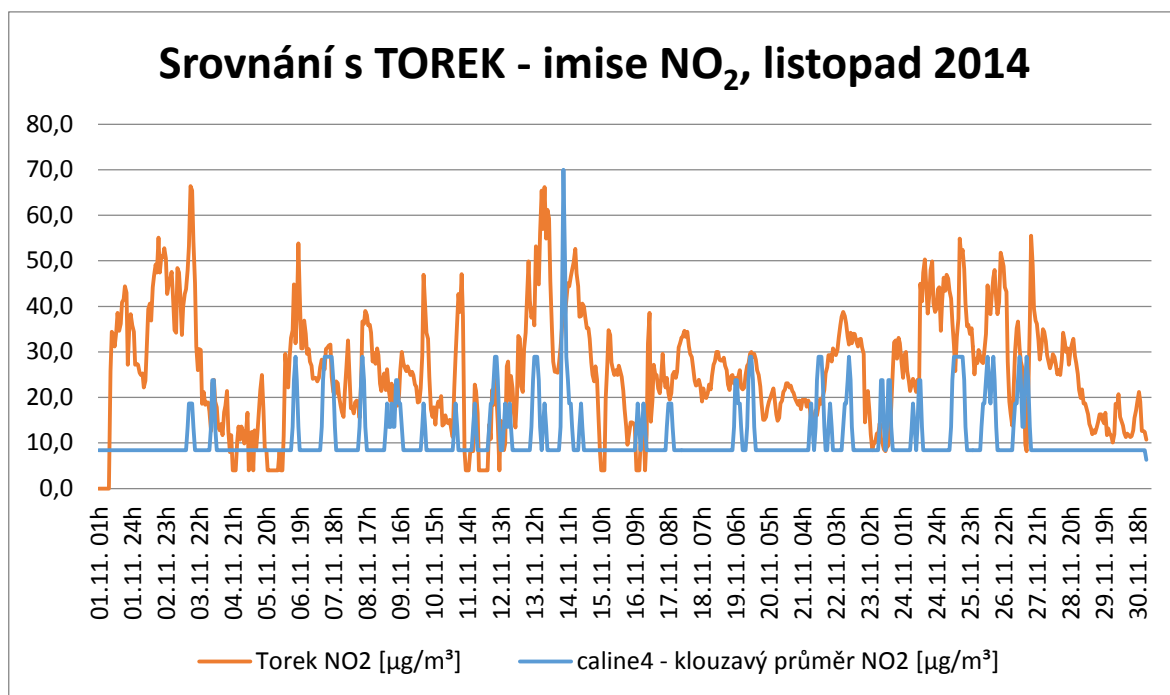
V měsíci listopadu mimo zvýšené hodnoty naměřené v období 1. 11. až 4. 11. a také 25. 11. hodnoty vypočtené korespondují s průběhem měření. V období mezi 26. 10. a 1. 11. je v datech zaznamenán výpadek v měření imisní stanice a v období na začátku listopadu chybí údaje o směru a intenzitě větru. Data byla doplněna pro možnost kontinuálního výpočtu, ale nejsou použitelná pro srovnávání. Po naběhnutí meteorologických dat je opět patrný vliv západního proudění větru.

6.3 Srovnání naměřených a vypočtených imisí NO_2



Graf 17: Srovnání s TOREK - imise NO_2 , říjen 2014

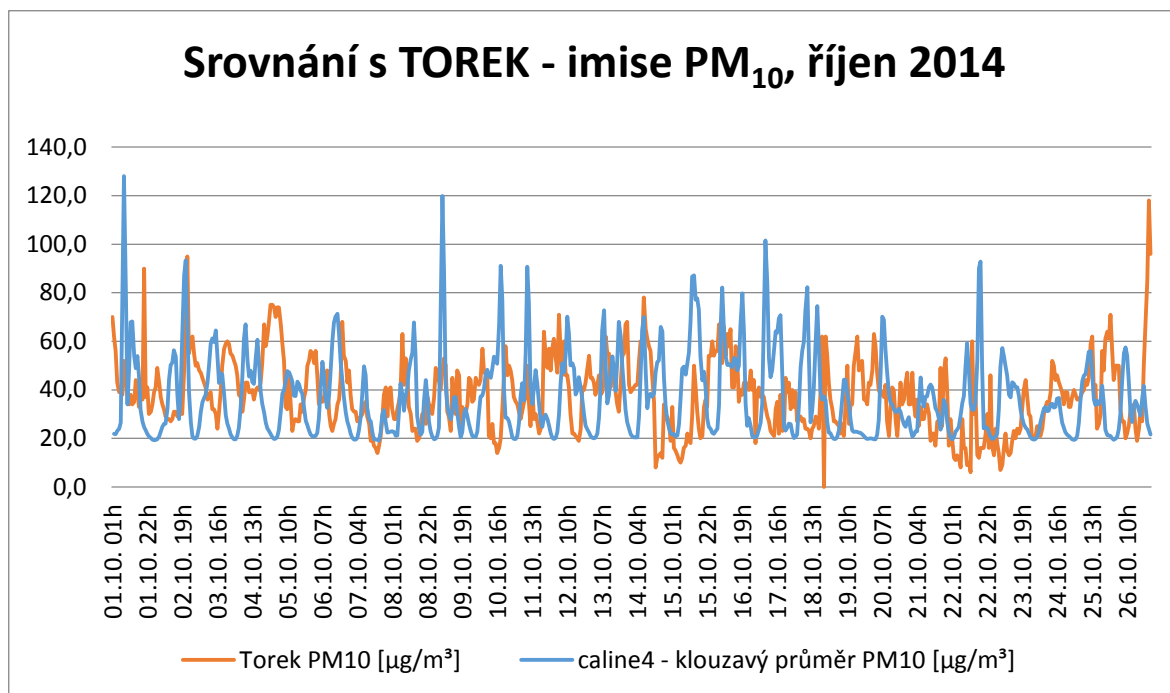
Při stanovování imisí NO_2 vychází výpočtem často nulové hodnoty, resp. hodnoty pozadové. Vypočtený průběh navzdory úpravě funkcí klouzavého průměru vykazuje oproti měření značné výkyvy. Ve výpočtu je patrná chybějící kapacita systému respektující pomalejší rozptyl imisí i bez dalších příspěvků. Program CALINE 4 z principu neuvažuje žádnou historii před a každou jednotlivou hodnotu počítá zvlášť. Hodnoty v měsíci říjnu lze smysluplně porovnávat jen řádově, případně by bylo třeba srovnávat dlouhodobý, několikadenní průměr.



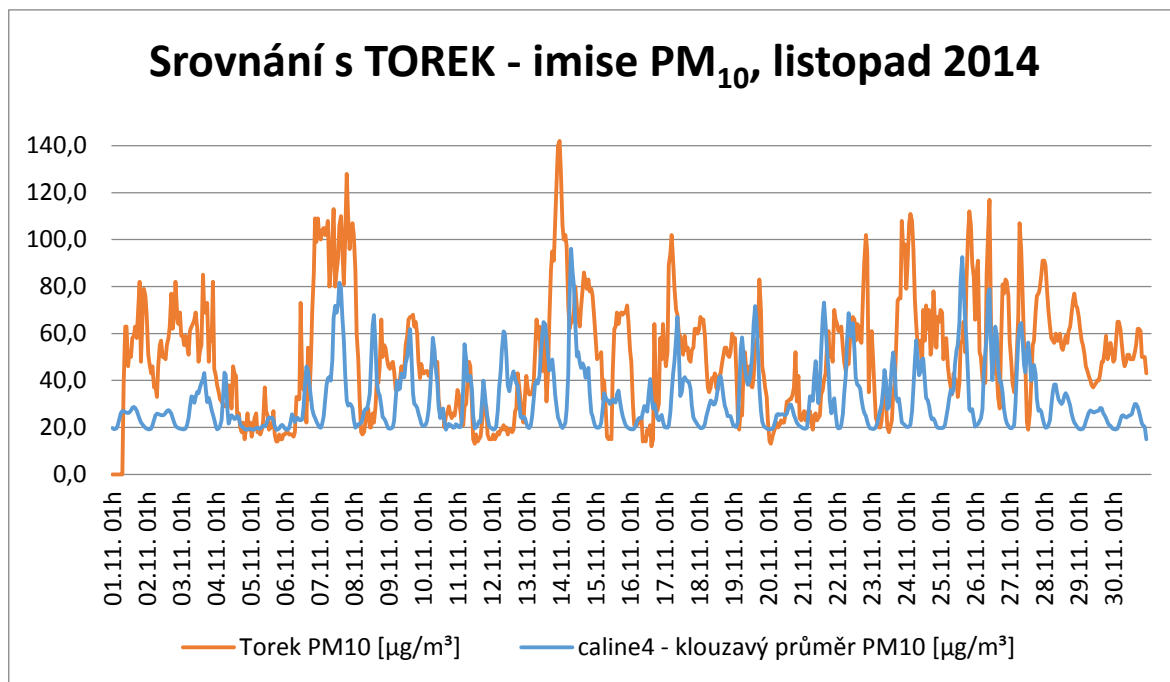
Graf 18: Srovnání s TOREK - imise NO₂, listopad 2014

Průběh měsíce listopadu má podobné chování jako v měsíci říjnu. Hodnoty změřené imisním monitoringem jsou zde však výrazně vyšší než vypočtené.

6.4 Srovnání naměřených a vypočtených imisí PM₁₀



Graf 19: Srovnání s TOREK - imise PM₁₀, říjen 2014



Graf 20: Srovnání s TOREK - imise PM₁₀, listopad 2014

U polétavého prachu byly v měsíci říjnu zaznamenány srovnatelné průběhy vypočtených a monitorovacích hodnot. Vrcholy a propady křivek se však časově ne vždy zcela shodují.

V měsíci listopadu je zřetelný rozdíl na začátku měsíce, kdy byly použity náhradní hodnoty rychlosti a směru větru, viz kap. 6.2. Trend obou křivek je podobný, na konci listopadu je patrné stejné zvlnění, hodnoty z imisního monitoringu jsou však vyšší, což mohou způsobovat jiné zdroje znečištění z okolí měřicí stanice.

7 DISKUZE

Cílem práce bylo určení množství imisí z dopravy z uzlu silnic Rudná, Fryštátská a Těšínská a jejich srovnání a imisním monitoringem automatické monitorovací stanice TOREK v Ostravě Bartovicích, jejíž data z října a listopadu 2014 byla k dispozici.

Modelování imisní situace je postaveno na složitých výpočtech s velkým množstvím vstupních údajů. Vypočtené hodnoty závisí jednak na kvalitě a hloubce propracovanosti modelu, dále pak na kvalitě a přesnosti vstupních údajů. S rostoucí propracovaností matematického modelu reprezentovaného v našem případě programem CALINE 4, logicky rostou požadavky na množství vstupů zadávaných do výpočtu uživatelem modelu (programu). Výsledný efekt pak může být do jisté míry ovlivněn i zkušenostmi uživatele, který správně odhadne, na kterých datech výpočet závisí významně (výsledky citlivě reagují na případné nepřesnosti), a která data jsou více orientační (změna těchto vstupů nemá velký vliv na výsledek). Podle toho lze pak věnovat patřičné úsilí k zpřesnění těch podstatnějších vstupů.

Znalost chování matematického modelu je pak i důležitá při skládání výsledku z několika dílčích výstupů programu, v tomto případě skládání imisních příspěvků od osobní, lehké a těžké nákladní dopravy, autobusů a v případě prachových částic také příspěvku resuspendovaných částic. Nastal problém, jak správně zahrnout pozad'ové hodnoty, aby nedošlo ke kolizi s přesností a zaokrouhlovacími chybami výstupu programu. Program pozad'ovou hodnotu škodlivin ke svému výstupu přičítá, bylo tedy logické při n dílčích výpočtech odečíst $(n-1)$ násobek této hodnoty. V případě výpočtu imisí NO_2 však program výstupy zaokrouhluje na vyšší řád, než jsou pozad'ové hodnoty a výsledky vycházely v některých časech po zaokrouhlení z programu nulové. Odečtením „přebytečných“ pozad'ových hodnot bychom získali záporné koncentrace, což je nereálná hodnota. Proto byly vstupy pozad'ových hodnot sledovaných polutantů zadány nulové a tato hodnota se přičítala až k součtu dílčích výsledků.

Některé vstupy, typicky vstupy meteorologických dat (rychlost a směr větru, teplota), vykazují v čase značnou proměnlivost, kterou je možné například u směru větru reprezentovat směrodatnou odchylkou směru větru (tedy mírou, jak je vítr stabilní či proměnlivý). Taková hodnota však automatickou měřicí stanicí není zaznamenávána a

byla zadána jen na základě doporučení z manuálu programu CALINE 4 v rozsahu 5° – 20° , v pravidelných intervalech během dne. Přitom údaj o síle a hlavně směru větru má zásadní vliv na výsledky výpočtu. Nejvyšších imisních koncentrací je dosahováno právě při konkrétních směrech větrů vanoucích od jednotlivých úseků silnice směrem ke sledovanému receptoru (imisní stanici). Vypočtený údaj pak silně závisí právě také na odhadnuté směrodatné odchylce větru a nemusí proto korespondovat se skutečně naměřenými hodnotami.

Program CALINE 4 požaduje zadat minimální hodnotu větru $0,5 \text{ m.s}^{-1}$, takže část hodnot z meteorologického měření musela být upravena (zkreslena), aby výpočet mohl kontinuálně proběhnout.

Rovněž intenzita dopravy sice vychází z reálného měření v terénu, ale měření bylo prováděno pouze v několika málo časových úsecích, nikoli 24 hodin denně a 7 dní v týdnu. Kromě toho i odečtená data mohou být zatížena chybou lidského faktoru, a to nejen přehlédnutím několika vozidel jedoucích v zákrytu na vícepruhové silnici, ale rovněž nesprávným zařazením dopravního prostředku do kategorie (lehké a těžké nákladní vozy).

Nelze opomenout ještě jeden významný fakt související se srovnáním dat, a to blízkost silnic Šenovské a Lihovarnické s odhadovanými intenzitami dopravy 3000–5000 automobilů denně (Šenovská) a 5000–7500 automobilů denně (Lihovarnická). Také tyto emise mohou být imisní stanicí zachyceny.

Emisní faktory vozidel rovněž vycházejí ze statistik poměrů jednotlivých druhů spalování a věkového stáří vozidel, a tím i jejich zařazení do správné kategorie norem EURO. Navíc samotný výpočet emisního faktoru je zatížen chybou rozložení plynulosti dopravy, která se v průběhu dne může měnit. V našem případě je použit jeden výsledný emisní faktor pro každou ze silnic a každou kategorii vozidel, nezávislý na denní době.

U resuspendovaných částic, respektive při určování jejich emisního faktoru, rovněž dochází ke zjednodušení v časové ose. Emisní faktor je vypočten (dle platné metodiky) pro celé období, přičemž závisí např. na množství srážek, které je opět proměnlivé v čase.

K. L. Kenty (Kenty, 2007) tvrdí, že může být rozdíl v hodnotách způsoben samotným imisním modelem CALINE 4, jenž sice patří k nejlepším dostupným modelům pro výpočet imisí v blízkosti dopravních komunikací, ale rozhodně není modelem dokonalým. V článku je např. zmíněno podhodnocování imisí NO_2 , při nízkých

pozařových hodnotách koncentrací O_3 pod 40 ppb = 0,04 ppm a také obecně horší odhad v nočních hodinách. Program CALINE 4 vůbec nemá ošetřeno rozlišení dne a noci (toto by možná mohlo být řešeno řízením parametru konstanty fotolýzy).

Dále podle E. A. Yury (Yura, 2007) nevykazuje CALINE 4 dobrých výsledků při monitoringu imisí $PM_{2,5}$ v městských aglomeracích. Je otázkou, zda se závěry článku týkající se $PM_{2,5}$ dají obecně vztahovat i na částice větší (PM_{10}).

K. Zhang (Zhang, 2010) konstatuje ve své studii také závislost přesnosti modelu pro výpočet imisí $PM_{2,5}$ a CO na ročním období, kdy pro CO vychází závislost imisí CO lineární pouze na podzim, v ostatních ročních obdobích lze závislost považovat za po částech lineární.

S ohledem na všechny tyto vlivy je srovnání hodnot z modelu a imisního monitoringu provedeno s velkým nadhledem vzhledem k časové ose. Údaje nejsou porovnávány v sousedících řádcích, ale je provedeno spíše vizuální srovnání spojnic měřených a vypočtených údajů, zda vykazují obdobný trend a oscilují řádově ve stejných hodnotách.

Rozdíly pozorovatelné mezi reálným monitoringem a mezi hodnotami vypočtenými modelem CALINE 4 jsou tedy jistě ovlivněny na straně výpočtu nepřesně zadanými vstupy (pouze tak přesnými, jak je to v dané situaci možné). Na druhé straně je však nutné vzít v potaz i zkreslení údajů na straně imisního monitoringu tou skutečností, že už ze samotného principu měření není imisní monitoring schopen oddělit imise z dopravy od imisí z jiných zdrojů. Větší rozdíly mezi měřením a výpočtem proto mohou být v případě vyšších hodnot na straně monitoringu dány právě těmito příspěvky, z nichž se nabízí hlavně příspěvek průmyslového gigantu ArcelorMittal Ostrava, a.s., nacházejícího se na dohled od sledované oblasti jihozápadním směrem (mohl by tedy ovlivňovat imise právě při jihozápadním proudění větru). Nezanedbatelný vliv na měření budou mít také lokální topeniště, jelikož se měřicí imisní stanice nachází v obytné části v zástavbě rodinných domů s lokálním vytápěním. Lze důvodně předpokládat, že v měsících říjnu a listopadu 2014 bez ohledu na vyhlášení topné sezóny - v měsíci říjnu 22, v měsíci listopadu 28 topných dnů (zdroj: <http://vytapieni.tzb-info.cz>), byla tato topeniště s přihlédnutím k měřené venkovní teplotě, v provozu. Přestože se nejedná o velké znečišťovatele, podstatná bude zejména jejich blízkost k imisní stanici. Lze spekulovat

také o vlivu dálkového přenosu z Polska zmíněném výše, ale lokální místní topení bude mít v tomto směru pravděpodobně podstatnější vliv. Na rozdíl od dominantního zdroje emisí průmyslového gigantu ArcelorMittal Ostrava, a. s., je těžké dát lokální topeniště v celém okolí do souvislosti s konkrétním směrem větru.

Budoucí trend imisí z dopravy závisí na mnoha neznámých a jen předpokládaných faktorech. Dá se očekávat trvalý mírný růst celkových objemů silniční dopravy, naproti tomu dochází k neustálému zpříšňování emisních limitů pro spalovací motory, které brzdí růst celkových emisí produkovaných tímto odvětvím lidské činnosti. Daleko hůře předvídatelný je přechod k jiným alternativním pohonům v automobilové dopravě, závisející na rozvoji nových technologií. Typickým příkladem je jen pomalu se rozšiřující podíl elektromobilů, jejichž slabinou je velikost kapacity akumulátorů. Podaří-li se vyřešit problém akumulace elektrické energie uvedením nových lehčích a kapacitnějších baterií a rozhybe-li se trh tímto směrem, začne se pak snáze rozvíjet i síť dobíjecích stanic.

Problém s kapacitou a dojezdem by mohly dočasně řešit různé varianty hybridních pohonů, které jsou kombinací elektropohonu s omezenou akumulací a vlastním trvalým dobíjením pomocí motorgenerátoru. Emise hybridních pohonů nejsou tolik závislé na terénu (stoupání a klesání) a na plynulosti dopravy.

Význam modelování imisí nespočívá v možnosti porovnávání výsledku s reálnými daty a modely nejsou tak ani konstruovány. V opačném případě by musely pracovat s delším časovým úsekem a časovou pamětí a kapacitami prostředí (pozdolným nikoli skokovým nárůstem a poklesem koncentrací). Matematické modelování má velký potenciál v pomoci při rozhodování o nových stavbách v rámci posuzování jejich vlivů na životní prostředí. V oblasti dopravy je to například budování obchvatů měst a terénních staveb, jako jsou tunely a viadukty přes údolí a zvyšování kapacity páteřních komunikací. Jak je patrné z mapy dopravní zátěže silnic v Ostravě (obr. č. 9), samotné zvýšení kapacity silnice nestáhne na silnici větší objem dopravy – např. kapacitní dálnice má směrem na Bohumín mnohem menší intenzity dopravy než silnice nižších tříd v centru. Určitě se však zlepší plynulost dopravy v daném úseku. Budování mimoúrovňového křížení omezí brzdění a rozjezdy na křižovatkách a zátěž od volnoběžného chodu nastartovaných motorů stojících automobilů.

Překlenutí údolí viaduktem změní ráz krajiny, ale zkrátí komunikaci a omezí stoupavé a klesavé úseky s vyššími vyvolanými emisemi vozidel. Vytěsnění dopravy z center měst sice zabere zemědělskou půdu, ale zlepší ovzduší v daných lokalitách a přispěje rovněž k celkovému snížení emisí z dopravy díky zlepšení plynulosti, omezení zastavování vozidel pro umožnění přecházení chodců a podobně.

Model by mohl mít zásadní význam při srovnávání několika variant řešení plánované komunikace. Při vytvoření sítě receptorů by bylo možné porovnávat modelové emise z jednotlivých variant a vybrat tu nejvhodnější. Navíc při automatizaci výpočtu je možné zadáním reálných meteorologických dat z předešlých let sledovat proměnlivost výskytu imisí v jednotlivých měřících bodech a srovnat očekávaný počet překročení limitů v průběhu roku na tom kterém bodě. Samozřejmě čím časově vzdálenější modelování použijeme, tím závislejší výsledky budou na přesnosti odhadu rostoucích intenzit provozu a jednotkových emisí na průměrný automobil v daném roce.

8 ZÁVĚR

Přestože emise z dopravy nejsou jediným problémem pro čisté ovzduší, rozhodně nejsou zanedbatelné. Čím větší důraz je kladen na snížení emisí velkých stacionárních zdrojů, tím více se projevují vlivy zdrojů malých a tedy i vlivy zejména silniční dopravy.

Nejvíce patrné jsou emise a imise způsobené spalovacími motory na silnicích v centrech měst a u kapacitních silničních páteřních komunikací.

Proto je v posledních letech vidět snaha omezit alespoň v době zhoršených rozptylových podmínek dopravu ve městech. Toho se v některých zemích snaží docílit legislativními prostředky a pravděpodobně tento trend dorazí v nejbližší době do větších měst v ČR, případně do lázeňských měst apod.

V Ostravě je dlouhodobá snaha přesvědčit občany využívat více městskou hromadnou dopravu, která je městem dotována. V minulých letech byly snahy zavést v období smogové situace hromadnou dopravu zdarma, ale nebylo to přijato s patřičným pochopením a efektem. V rámci snižování množství poletovaného prachu se v Ostravě provádí častější údržba (omývání) vozovek, čímž se dosahuje hlavně snížení množství resuspendovaných částic. Pro zlepšení kvality ovzduší se uvažuje například obměna vozového parku Dopravního podniku Ostrava, a.s. za nová vozidla, včetně několika nízkoemisních vozidel, vozidel na alternativní pohon a elektrobusů (Nadkanská, 2017).

V rámci akčního plánu „Krátkodobý program ke zlepšení kvality ovzduší“ (Nadkanská, 2017) odbor ochrany životního prostředí města Ostrava navrhuje různá technická opatření na snížení znečišťování ovzduší. Jedním z nich je také významná obnova zeleně, tj. posílení ekologické stability krajiny za účelem snížení imisní zátěže a podpora regenerace urbanizované krajiny výsadbou remízů, úpravou travnatých ploch, obnovou parků, alejí aj.

Z vypočtených dat je patrná vhodnost použití matematického modelu pro srovnání variant provozu a modelování budoucích silničních staveb. Ve srovnání s imisním monitoringem není modelování zatíženo chybami měření příspěvků jiných zdrojů. Jednoduchý matematický model však nedokáže jednoduše vnést do údajů časovou setrvačnost, respektive model by musel být této možnosti přizpůsoben již od počátku.

Tato skutečnost je patrná ze srovnání dat z imisního monitoringu s daty vypočtenými. Přesnou matematicky vyjádřitelnou shodu či podobnost křivek spojnic naměřených a vypočtených hodnot v grafech nenajdeme. Z toho pohledu model nevyšel ze srovnání zrovna nejlépe.

Na druhé straně modelování je, a asi dlouho zůstane, jediným způsobem odhadu vlivu plánovaných staveb na životní prostředí. Srovnání měřených a vypočtených hodnot rozhodně může pomoci k zlepšování stávajících modelů, případně k vývoji modelů sofistikovanějších.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ANDREOVSKÝ, Jan et al. *Příručka ochrany kvality ovzduší*. 1. vyd. Praha: Sdružení společností IREAS centrum, 2013, 640 s. ISBN 978-80-86832-77-7.
2. ATEM – Ateliér ekologických modelů, s.r.o. *MEFA 2013* [online]. Praha: 2013 [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.atem.cz/mefa.php>
3. ATEM - Ateliér ekologických modelů, s.r.o.. *Zjištění aktuální dynamické skladby vozového parku v roce 2015, Prognóza skladby vozového parku do roku 2040* [online]. Praha: 2016 [cit. 2016-10-11]. Dostupné z: <https://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/5c62aa6e-a639-40e0-98be-e64680534c3b/2015+Dynamicka+skladba+VP.pdf?MOD=AJPERES>
4. BARTOŠ, Luděk. *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích: TP 189*. 2. vyd. Plzeň: EDIP, 2012, 76 s. ISBN 978-80-87394-06-9.
5. BARTOVSKÁ, Lidmila; ŠIŠKOVÁ Marie. *Co je co v povrchové a koloidní chemii: Výkladový slovník*. [online]. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/stokesova_rovnice.html
6. BLAŽEK, Zdeněk. *Znečištění ovzduší suspendovanými částicemi v oblasti Ostravsko-Karvinska*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2008. 75 s. ISBN 978-80-86690-53-7.
7. BLAŽEK, Zdeněk. *Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy: Wpływ warunków meteorologicznych na jakość powietrza w obszarze przygranicznym Śląska i Moraw*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2013. 181 s. ISBN 978-80-87577-15-8.
8. BRANIŠ, Martin; HŮNOVÁ Iva. *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Praha: Karolinum, 2009. 352 s. ISBN 978-80-246-1598-1.
9. BUREŠ Jiří. *ConVERTER: Převody jednotek, fyzikální tabulky, životopisy fyziků a Nobelova cena*. [online]. Brno: 2002 [cit. 2017-02-04]. Dostupné z: <http://moodle2.gymcheb.cz/mod/url/view.php?id=19721>
10. CALTRANS. *CALINE 4*. [online]. [cit. 2015-12-19]. Dostupné z: <http://www.dot.ca.gov/hq/env/air/software/caline4/calinesw.htm>
11. Centrum dopravního výzkumu. *Vzorové sčítací listy*. [online]. Brno: 2010 [cit. 2017-04-14]. Dostupné z: <http://csd.cdv.cz/skoleni/scitani/tema-3/>
12. Český hydrometeorologický ústav. *Grafická ročenka 2014*. [online]. Praha: 2015 [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/14groc/gr14cz/Obsah_CZ.html

13. Český hydrometeorologický ústav. *Informace o kvalitě ovzduší v ČR: Seznam lokalit, kde se měří znečištění ovzduší*. [online]. Praha: 2017 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z:
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/locality/pollution_locality/loc_TORE_CZ.html
14. Český hydrometeorologický ústav. *Suspendované částice*. [online]. Praha: 2010 [cit. 2017-01-11]. Dostupné z:
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/weather_links/Pocasi/Navody/Zneisteni/susp_castice.pdf
15. Český hydrometeorologický ústav. *Meteorologické zprávy*. [online]. Praha: 2012 [cit. 2017-314]. Dostupné z:
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/casmz/novy/2012/Meteo-2012-01.pdf>
16. DieselNet. *Emission Standards* [online]. 2017 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z:
<https://www.dieselnet.com/standards/#eu>
17. EEA (a). *Air quality in Europe – 2016 report*. [online]. 2016 [cit. 2017-03-19]. ISSN 1977-8449. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>
18. EEA (b). *Tématem číslo jedna zůstává pro mnoho Evropanů kvalita ovzduší*. [online]. 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z:
<http://www.eea.europa.eu/cs/articles/tematem-cislo-jedna-zustava-pro>
19. EEA (c). *Znečištění ovzduší*. [online]. 2017 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z:
<http://www.eea.europa.eu/cs/themes/air/intro>
20. EEA (d). *Elektrická vozidla: posun k udržitelnému systému mobility*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.eea.europa.eu/cs/articles/elektricka-vozidla-posun-k-udrzitelnemu>
21. In - počasí. *Archiv počasí, klima České republiky*. [online]. Plzeň: InMeteo, 2015 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.in-pocasi.cz/archiv>
22. Integrovaný registr znečišťování. *Informace o látkách ohlašovaných do IRZ*. [online] Praha: 2017 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/20>
23. JANČÍK, Petr et al. *Atlas ostravského ovzduší*. [online]. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU, 2013, 127 s. [cit. 2015-12-14]. ISBN 978-80-248-3006-3. Dostupné z:
http://www.air-silesia.eu/files/file/air_silesia/raport/vsb_atlas_ov_ovzdusi_.pdf
24. JANDOVÁ, Vilma et al. *Studie o vývoji dopravy z hlediska životního prostředí v České republice za rok 2015*. [online]. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2016, s. 125. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/studie_vyvoj_dopravy/\\$FILE/000-Studie_2015-20170123.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/studie_vyvoj_dopravy/$FILE/000-Studie_2015-20170123.pdf)

25. KENTY, Kerstin L. et al. *Application of CALINE4 to roadside NO/NO₂ transformations*. [online]. Atmospheric Environment, (41), 4270-4280, 2007. [cit. 2017-03-29]. ISSN 8747-8757. Dostupné z:
<https://www.journals.elsevier.com/atmospheric-environment/>
26. Krajská hygienická stanice Liberec. *Ovzduší a zdraví*. [online]. Liberec: 2014 [cit. 2015-12-15]. Dostupné z: <http://www.khslbc.cz/odbory/hok/ovzdusi-zdravi.pdf>
27. KRKOŠKOVÁ, Nad'a; POLÁK, Robert.: *Historický vývoj produkce emisí z automobilové dopravy*. [online]. Praha: 2015. Ochrana životního prostředí. ročník 2, číslo 2/2015, ISSN: 2336-6753. Dostupné z:
http://www.atem.cz/casopis/casopisOZP_2-2015.pdf
28. KURFÜRST, Jiří et al. *Kompendium ochrany kvality ovzduší*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor s.r.o., 2008. 407 s. ISBN 978-80-86832-38-8.
29. LAPČÍK, Vladimír. *Oceňování antropogenních vlivů na životní prostředí*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011, 217 s. ISBN 978-80-248-2440-6.
30. LINHARTOVÁ, Šárka. *Zhodnocení vlivu dopravy na celkové kvalitě ovzduší v Ostravě-Radvanicích*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta Hornicko-geologická.
31. MACOUN, Jan,. *Transport, rozptyl a transformace znečišťujících látek v atmosféře; depozice*. [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2010. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://files.tretiruka.cz/200001883-2718328120/Teorie.doc>
32. Ministerstvo životního prostředí. *Metodický pokyn odboru ochrany ovzduší ke zpracování rozptylových studií*. [online]. Praha: 2013 [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/zpracovani_rozptylovych_studii_metodika
33. Ministerstvo životního prostředí. *Program zlepšování kvality ovzduší: Aglomerace Ostrava/Karviná/Frýdek-Místek - CZ08A* [online]. Praha: 2015 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z:
http://www.mzp.cz/opatreniobecnepovahy/Strednedoba_strategie_PZKO_CZ08A_.pdf
34. NADKANSKÁ, Hana; BABINCOVÁ Gabriela. *Krátkodobý program ke zlepšení kvality ovzduší - III. aktualizace: Akční plán*. [online]. Ostrava: Statutární město Ostrava 1, odbor ochrany životního prostředí, 2017. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: <https://www.ostrava.cz/cs/o-meste/zivotni-prostredi/ovzdusi/dokumenty-a-materialy-tykajici-se-ochrany-ovzdusi-1/kratkodoby-program-ke-zlepseni-kvality-ovzdusi-iii-aktualizace>

35. NAVRÁTILOVÁ, Margita; LAŽA Josef. *Zlepšení čistoty ovzduší města Ostravy v oblasti dopravy: JÚ 0417/XXXVI*. [online]. Ostrava: Ostravské komunikace, a.s., 2007 [cit. 2016-02-3]. Dostupné z: <https://www.ostrava.cz/cs/o-meste/zivotni-prostredi/ovzdusi/dokumenty-a-materialy-tykajici-se-ochrany-ovzdusi-1/zlepseni-cistoty-ovzdusi-mesta-ostavy-v-oblasti-dopravy/zlepseni-cistoty-ovzdusi-mesta-ostavy-v-oblasti-dopravy-textova-cast>
36. PETŘVALSKÁ, Renata. *Výpočet imisí ze silniční dopravy a srovnání s imisními daty ze sledované oblasti z roku 2012*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta Hornicko-geologická.
37. SAIDL, Jan, 2016. Katalyzátor. In: Autolexicon.net [online]. [cit. 2016-12-02]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/katalyzator/>
38. Státní zdravotní ústav se sídlem v Ostravě. *Analýza závislosti meteorologických veličin a kvality ovzduší*. [online]. Ostrava: 2012 [cit. 2016-07-29]. Dostupné z: https://www.ostrava.cz/cs/o-meste/zivotni-prostredi-old/zivotni-prostredi/c-users-krzyzankovavl-desktop-zpra-va_final.pdf
39. Státní zdravotní ústav. *Zdravotní důsledky a rizika znečištění ovzduší: Odborná zpráva za rok 2014*. [online]. Praha: 2015. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/odborne_zpravy/OZ_14/ovzdusi_2014_zprava.pdf
40. Statutární město Ostrava. *Imise*. [online]. Ostrava: 2016 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <http://www.ostrava.cz/cs/o-meste/zivotni-prostredi/ovzdusi/stav-kvality-ovzdusi/imise>
41. ŠAUER, Petr et al. *Assessing Efforts to Mitigate Particulate Matter Air Pollution in the Moravian-Silesian Region*. Polish Journal of Environmental Studies. [online]. 2014, 23(6): 2233-2242 [cit. 2015-12-16]. ISSN 12301485. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e5h&an=99787776&scope=site>
42. WALDHAUSEROVÁ, Pavla. *Když ozon škodí*. [online]. Vesmír 2008, 87(12): 840-842 [cit. 2015-12-20]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <http://casopis.vesmir.cz/clanek/kdyz-ozon-skodi>
43. YURA E. A. et. al. *CALINE dispersion to assess vehicular PM2.5 emissions*. Atmospheric Environment. [online]. (41), 4270-4280, 2007 [cit. 2017-03-29]. ISSN 8747-8757.
44. *Zákon č. 201/2012 Sb.: Zákon o ochraně ovzduší*, 2012. Zákony pro lidi [online]. Zlín: AION CS [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>

45. ZAPLETAL, Miloš. *Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice*. Opava: Slezská univerzita, Filozoficko-přírodovědecká fakulta, Ústav historických věd, 2014. 135 s. ISBN: 978-80-7510-085-6
46. ZAPLETAL, Miloš; KOTLÍK Bohumil. *Modelování depozičních toků částic a kvantifikace zachytu částic různými povrchy v urbanizované oblasti*. Meteorologické zprávy: Meteorological bulletin [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2012. 65(1), 8 [cit. 2017-03-29]. ISSN 0026 - 1173. Dostupné z:
<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/casmz/novy/2012/Meteo-2012-01.pdf>
47. ZHANG, Kai; BATTERMAN Stuart. *Near-road air pollutant concentrations of CO and PM 2.5 : A comparison of MOBILE6.2/CALINE4 and generalized additive models*. [online] Atmospheric Environment, (44), 9, 2010 [cit. 2017-03-30]. ISSN 1740 - 1748. Dostupné z: <https://www.journals.elsevier.com/atmospheric-environment/>

SEZNAM ZKRATEK

ADT	Average daily traffic (průměrný denní počet vozidel na komunikaci)
BUS	Autobus
CALINE 4	California line source dispersion model version 4 (Kalifornský silniční disperzní model verze 4)
Caltrans	California Department of Transportation (Kalifornské ministerstvo dopravy)
CNG	Compressed Natural Gas (stlačený zemní plyn)
CO	Oxid uhelnatý
CO ₂	Oxid uhličitý
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
DPO	Dopravní podnik Ostrava, a.s.
E	Emisní faktor
EEA	European Environment Agency
EU	Evropská unie
EURO	Emisní normy pro automobily
HDV	Těžká nákladní vozidla
IPPC	Integrated pollution prevention and control (Integrovaná prevence a omezování znečištění)
IRZ	Integrovaný registr znečišťování
KHL	Krajská hygienická stanice Liberec
LDV	Lehká nákladní vozidla
LPG	Liquid Petrol Gas (tekutý propan-butan)
MEFA 13	Program pro výpočet emisních faktorů pro motorová vozidla
MSK	Moravskoslezský kraj
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
N	Počet dnů v měsíci
NO _x	Oxidy dusíku
P	Počet dnů s úrovní srážek ≥ 1 mm z celkového počtu dnů v měsíci
OA	Osobní automobily
PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PCB	Polychlorované bifenylly

Bc. Simona Polochová: Výpočet imisí ze silniční dopravy a srovnání s daty
z automatizované imisní stanice v Ostravě-Bartovicích v roce 2014

PM	Suspendované částice (polétavý prach)
PM ₁₀	Suspendované částice do 10 µm
PM _{2,5}	Suspendované částice do 2,5 µm
S I	Silnice I. třídy
S II	Silnice II. třídy
Sb.	Sbírka zákonů
sL	Zátěž povrchu silnice prachovými částicemi
TOREK	Automatizování imisní stanice TOREK
TP 189	Technické podmínky 189
SZU	Státní zdravotní ústav
W	Průměrná hmotnost vozidla
ŽP	Životní prostředí

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Nejvyšší 24hod. koncentrace PM_{10} v 2014	7
Obrázek 2 : Roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu v 2014	8
Obrázek 3: Roční průměrné koncentrace NO_2 v 2014	9
Obrázek 4: Roční průměrné koncentrace benzenu v 2014	10
Obrázek 5: Nejvyšší 24hod. koncentrace SO_2 v 2014	11
Obrázek 6: Katalyzátor	21
Obrázek 7: Počet překročení 24 hodinových koncentrací PM_{10} za 2012-2015	25
Obrázek 8: Počet průměrných měsíčních koncentrací benzo[a]pyrenu 2013-2015	26
Obrázek 9: Výřez interaktivní mapy celostátního sčítání dopravy v ČR zdroj:	27
Obrázek 10: Síť linek DPO	29
Obrázek 11: Schéma automatizace výpočtu v MS EXCEL	31
Obrázek 12: Pracovní parametry CALINE 4	32
Obrázek 13: Spouštěcí podmínky CALINE 4	34
Obrázek 14: Směrová růžice pro odečet směru větru	35
Obrázek 15: Geometrie vozovek	37
Obrázek 16: Souřadnice vozovek – linearizace	38
Obrázek 17: Aktivita vozovek	39
Obrázek 18: Výpočet emisního faktoru v MEFA 13	44
Obrázek 19: Souřadnice receptoru	51
Obrázek 20: Výsledky výpočtu	52

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Imisní limity znečišťujících látek	4
Tabulka 2: Emisních normy EURO pro osobní vozidla	18
Tabulka 3: Emisních normy EURO pro lehká užitková vozidla nad 1760 kg	18
Tabulka 4: Emisní normy EURO pro těžká nákladní vozidla a autobusy	19
Tabulka 5: Standardní odchylky směru větru	35
Tabulka 6: Třídy atmosférické stability	35
Tabulka 7: Hodnoty požadových koncentrací vybraných polutantů.....	36
Tabulka 8: Šířka mísící zóny sledovaných komunikací	38
Tabulka 9: Rozdělení vozidel do jednotlivých kategorií	40
Tabulka 10: Kalendář manuálního odečtu počtu vozidel na sledovaných komunikacích ..	43
Tabulka 11: Lokalita Ostrava – podíl jednotlivých typů vozidel dle emisních předpisů ..	46
Tabulka 12: Lokalita Ostrava – podíl jednotlivých typů vozidel dle typu paliva.....	46
Tabulka 13: Hodnoty násobitele „k“	48
Tabulka 14: Určení hodnot N a P	49
Tabulka 15: Výsledné hodnoty – intenzity dopravy	49
Tabulka 16: Výsledné hodnoty - výpočet emisního faktoru resuspendovaných částic	49
Tabulka 17: Emisní faktory -silnice I/11 Rudná.....	50
Tabulka 18: Emisní faktory silnice I/59 Fryštátská	50
Tabulka 19: Emisní faktory silnice II/479 Těšínská.....	50

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Podíly jednotlivých druhů dopravy na výkonech v osobní dopravě	14
Graf 2: Vývoj přepravních výkonů v osobní dopravě	15
Graf 3: Podíl na přepravních výkonech v nákladní dopravě	16
Graf 4: Vývoj přepravních výkonů v nákladní dopravě	17
Graf 5: Poměrné denní rozložení dopravy dle TP 189, silnice I. třídy	40
Graf 6: Poměrné týdenní rozložení dopravy dle TP 189, silnice I. třídy	41
Graf 7: Poměrné denní rozložení dopravy dle TP 189, silnice II. třídy	41
Graf 8: Poměrné týdenní rozložení dopravy dle TP 189, silnice II. třídy	42
Graf 9: Caline4, imise CO - říjen 2014	54
Graf 10: Caline4, imise CO - listopad 2014	55
Graf 11: Caline4, imise NO ₂ - říjen 2014	55
Graf 12: Caline4, imise NO ₂ - listopad 2014	56
Graf 13: Caline4, imise PM ₁₀ - říjen 2014	56
Graf 14: Caline4, imise PM ₁₀ - listopad 2014	57
Graf 15: Srovnání s TOREK - imise CO, říjen 2014	59
Graf 16: Srovnání s TOREK - imise CO, listopad 2014	59
Graf 17: Srovnání s TOREK - imise NO ₂ , říjen 2014	60
Graf 18: Srovnání s TOREK - imise NO ₂ , listopad 2014	61
Graf 19: Srovnání s TOREK - imise PM ₁₀ , říjen 2014	61
Graf 20: Srovnání s TOREK - imise PM ₁₀ , listopad 2014	62

PŘÍLOHY

Příloha 1	Umístění měřicí stanice Torek	P1_Umístění měřicí stanice Torek.docx
Příloha 2	Fotografie měřicí stanice TOREK	P2_Fotografie měřicí stanice TOREK.docx
Příloha 3	Emise a účinnost vozidel	P3_Emise a účinnost vozidel.docx
Příloha 4	Výpočet emisních faktorů	P4_Výpočet emisních faktorů.xlsx
Příloha 5	Výpočet imisí NO ₂	P5_Výpočet imisí NO2.xlsx
Příloha 6	Výpočet imisí CO	P6_Výpočet imisí CO.xlsx
Příloha 7	Výpočet imisí PM ₁₀	P7_Výpočet imisí PM10.xlsx
Příloha 8	Data srovnání	P8_Data srovnání.xlsx
Příloha 9	Přehled vstupních dat CALINE 4	P9_Přehled vstupních dat CALINE 4.xlsx
Příloha 10	Výpočet intenzit	P10_Výpočet intenzit.xlsx
Příloha 11	Přehled vstupních dat	P11_Přehled vstupních dat

(přílohy 5 – 11 pouze na CD nosiči)

Příloha č. 1 : Umístění měřicí stanice TOREK



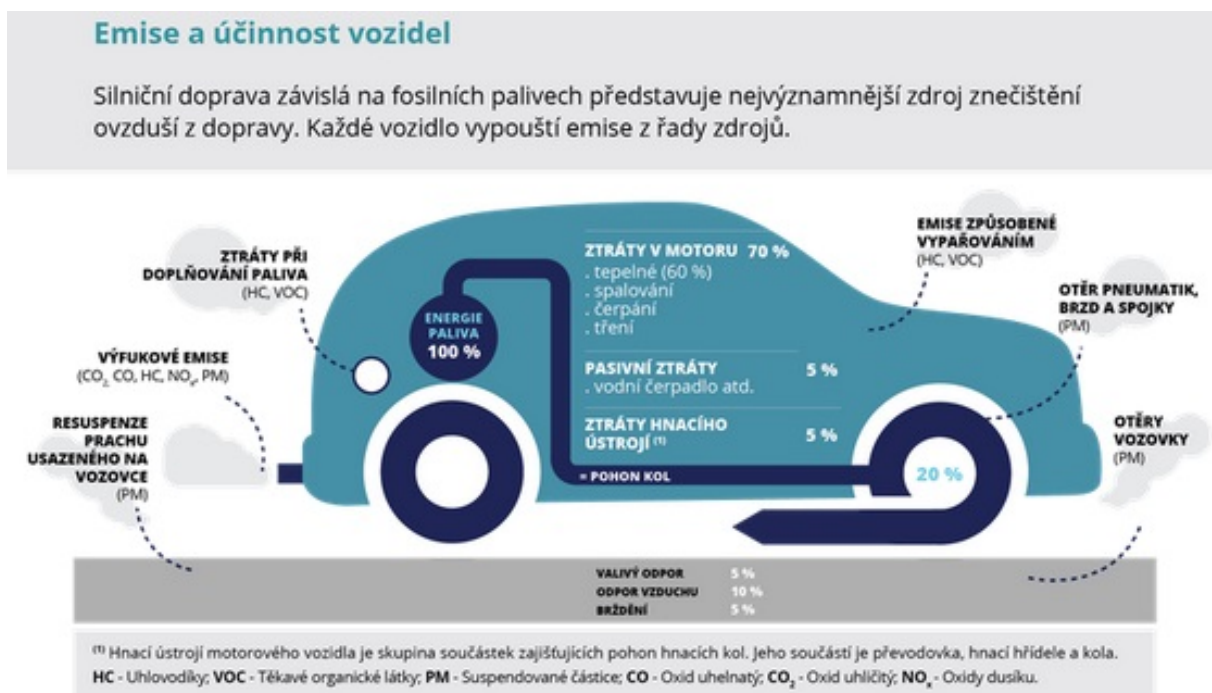
***Obrázek 1: Umístění měřicí stanice TOREK
(www.mapy.cz, 2017)***

Příloha č. 2: Fotografie měřicí stanice TOREK



*Obrázek 1: Fotografie měřicí stanice TOREK
([www. google.cz](http://www.google.cz), 2017)*

Příloha č. 3: Emise a účinnost vozidel



Obrázek 1: Emise a účinnost vozidel

zdroj: <http://www.eea.europa.eu/cs/pressroom/infografika/emise-a-ucinnost-vozidel/view>

Příloha č. 4 Výpočet emisních faktorů

Vypočtené emisní faktory za jednotlivé silnice

Rudná	emisní faktor [g/km]			emisní faktor [g/mi]		
	CO	PM10	NO2	CO	PM10	NO2
OA - osobní automobily	0,2564	0,0303	0,0535	0,4125	0,0487	0,0860
LDV - lehká nákladní auta	0,6502	0,0420	0,0682	1,0462	0,0676	0,1098
HDV - těžká nákladní auta	1,8103	0,1779	0,1622	2,9128	0,2863	0,2609
BUS - autobusy	6,8251	0,1870	0,2338	10,9816	0,3009	0,3762
Resuspendované částice		0,0841			0,1353	

bod zelený (m n.m.)	234
bod červený (m n.m.)	233
výškový rozdíl (m)	1
délka trasy (m)	553
sklon (%)	0,18
Parametry silnice zadané do MEFA:	
plynulost	1
podélný sklon zaokrouhlený	0
rychlost	90

Fryštácká	emisní faktor [g/km]			emisní faktor [g/mi]		
	CO	PM10	NO2	CO	PM10	NO2
OA - osobní automobily	0,4550	0,0461	0,0535	0,7322	0,0741	0,0861
LDV - lehká nákladní auta	2,3113	0,0645	0,0703	3,7189	0,1037	0,1131
HDV - těžká nákladní auta	2,5369	0,2601	0,1874	4,0818	0,4185	0,3015
BUS - autobusy	2,2499	0,1341	0,2301	3,6200	0,2157	0,3703
Resuspendované částice		0,1256			0,2021	

bod zelený (m n.m.)	225
bod červený (m n.m.)	222
výškový rozdíl (m)	3
délka trasy (m)	624
sklon (%)	0,48
Parametry silnice zadané do MEFA:	
plynulost	2
podélný sklon zaokrouhlený	0
rychlost	50

Těšínská	emisní faktor [g/km]			emisní faktor [g/mi]		
	CO	PM10	NO2	CO	PM10	NO2
OA - osobní automobily	2,1370	0,1114	0,1366	3,4384	0,1792	0,2197
LDV - lehká nákladní auta	34,4497	0,2918	0,2664	55,4296	0,4696	0,4286
HDV - těžká nákladní auta	7,1953	0,6925	0,6918	11,5772	1,1143	1,1131
BUS - autobusy	5,9891	0,2669	0,6055	9,6364	0,4294	0,9743
Resuspendované částice		0,1810			0,2912	

bod zelený (m n.m.)	226
bod červený (m n.m.)	270
výškový rozdíl (m)	44
délka trasy (m)	952
sklon (%)	4,62
Parametry silnice zadané do MEFA:	
plynulost	5
podélný sklon zaokrouhlený	5
rychlost	50

Přepočet míle/km 1,609